This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

THK
K87

Digitized by Google

Library
of the
University of Wisconsin

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

MODERNE DAMPFTURBINEN

Digitized by Google

Digitized by Google

MODERNE DAMPFTURBINEN

FÜR WEITERE KREISE DARGESTELLT

VON

DR. A. KREBS
BRÜSSEL

MIT 21 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

ZWEITE AUFLAGE

BERLIN
VERLAG VON GEORG SIEMENS
1905

Digitized by Google

Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Digitized by Google

88139
SEP 22 1905
THK
K87
69 5 1784

VORWORT.

Die Dampfturbinen haben dank den bahnbrechenden praktischen Erfolgen hervorragender Ingenieure, sowie durch das lebhafte Interesse, welches ihnen jetzt auch das Großkapital entgegenbringt, den richtigen Boden für eine schnelle und gedeihliche Entwicklung gefunden. Ist diese Verbindung von Technik und Kapital an sich schon eine Gewähr dafür, daß dem Fortschritt die natürlichen Sorgen benommen sind, so ist sie gerade bei den Dampfturbinen von besonderer Bedeutung, denn ihre schnelle und sachgemäße Fortbildung erfordert in allererster Linie Kapital und wieder Kapital, um die besten Kräfte zur weiteren Durchbildung und Vereinfachung zu vereinen, die Gesetzmäßigkeiten klarzustellen, kurz das ganze Gebiet für ein großes Vorgehen vorzubereiten.

Die Aufgabe an sich ist alt und in den Grundgedanken scheinbar einfach. Jeder aber, der mit der praktischen Ausführung von Dampfturbinen zu tun hatte, weiß, welche Fülle von Schwierigkeiten namentlich auch in den Einzelheiten auftreten, sodaß kostspielige und zeitraubende Vor- und Zwischen-Versuche nötig sind, die ohne Beteiligung des Kapitals kaum unternommen würden. Mehr als je scheint bei dem Dampfturbinen-Problem der Weg vom Verwickelten zum Einfachen dornenvoll und kostspielig.

Mit der Verbindung von Technik und Großkapital ist zugleich das allgemeine Interesse für Dampfturbinen in

Digitized by Google

weite Kreise gedrungen, sowohl der Gewerbtreibenden als auch der Abnehmer. Jeder sucht sich über die Neuerung zu unterrichten.

Wenngleich heute bereits eine umfangreiche Fachliteratur besteht und besonders die Zeitschriften fortlaufend Berichte bringen, so ist es doch für Viele recht zeitraubend und manchmal auch schwierig, sich über Dampfturbinen ein ausreichend klares Bild zu machen.

Der Verfasser hat versucht, eine kurze grundlegende Darstellung des Dampfturbinen-Problems zu geben, seine Schwierigkeiten und seine Lösungsarten zu erläutern, sowie das bislang Geschaffene einigermaßen zu klassifizieren, sodaß dem Leser in kurzen Worten ein allgemeiner Überblick möglich gemacht ist, auf Grund dessen er in der Fachliteratur weitere Belehrung finden kann, ohne sich allzulange in der großen Fülle des Gebotenen zu verlieren.

Um kurz und übersichtlich zu bleiben, mußte sich der Verfasser naturgemäß wesentliche Beschränkungen auferlegen und durfte sich nicht von einer rein grundlegenden Darstellung entfernen, selbst auf die Gefahr hin, in manchen Punkten angesprochen zu werden.

Nur in diesen Voraussetzungen ist das kleine Werk entstanden.

BRÜSSEL, im November 1904.

DER VERFASSER.

Digitized by Google

INHALTS-VERZEICHNIS.

Seite

I. Allgemeines 1

II. Ausnützung der kinetischen Energie des Dampfes bei Dampfmaschinen 2

III. Ausnützung der kinetischen Energie des Dampfes bei Dampfturbinen 8

IV. Grundsätzliche Schwierigkeiten des Dampfturbinen-Problems 9

V. Möglichkeiten, die grundsätzlichen Schwierigkeiten beim Dampfturbinen-Problem zu beheben 11

A. Aktions-Dampfturbinen mit Druckstufen 12
B. Aktions-Dampfturbinen mit Geschwindigkeitsstufen 14
C. Aktions-Dampfturbinen mit einer Kombination von Druck- und Geschwindigkeitsstufen 15

VI. Einfluß der Verwendung von Druckstufen, Geschwindigkeitsstufen, bezw. einer Kombination von Druck- und Geschwindigkeitsstufen auf die Bauart der Dampfturbinen 17

A. Dampfturbinen mit Druckstufen und einer Geschwindigkeitsstufe 20
B. Dampfturbinen mit Geschwindigkeitsstufen und einer Druckstufe 29
C. Dampfturbinen mit einer Vereinigung von Geschwindigkeits- und Druckstufen 37
D. Größenverhältnisse einiger der betrachteten Dampfturbinen im Vergleich mit einander 42

Digitized by Google

Seite

VII. Beachtenswerte Gesetzmäßigkeiten und Erfahrungen für die Ausführung von Dampfturbinen 45

Reibungsverluste 45
Wert der Dampfüberhitzung 46
Wert eines hohen Vakuums 47

VIII. Wirtschaftliche Vorzüge der Dampfturbinen im Vergleich mit den Dampfmaschinen 48

Dampfverbrauch 48
Raumbedarf — Fundamente 49
Wartung — Ölverbrauch — Ölfreies Kondensat . . 50

IX. Fernere Aufgaben und Anwendungen 51

Gas-Turbine — Luft-Turbine 51

Digitized by Google

MODERNE DAMPFTURBINEN.

I. ALLGEMEINES.

Die Dampfturbinen haben theoretisch vor ihrer starken Rivalin, der Dampfmaschine, 2 Hauptvorteile:

1. Sie gewähren die Möglichkeit einer bei weitem größeren Dampfausnützung als die Dampfmaschine,
2. Sie geben unmittelbar eine Drehbewegung, im Gegensatz zu den Dampfmaschinen, die zunächst hin- und hergehende Bewegung erzeugen, die erst durch eine Reihe von Zwischengliedern in rotierende Bewegung verwandelt wird.

Dampfturbinen, die also in einfacher Weise diese theoretischen Möglichkeiten auch praktisch durchzuführen gestatten, haben daher ein außerordentlich großes Betätigungsfeld vor sich. Um dies genauer zu erkennen, behandeln wir zunächst die

Digitized by Google

II. AUSNÜTZUNG DER KINETISCHEN ENERGIE DES DAMPFES BEI DAMPFMASCHINEN.

Bei den Kolbendampfmaschinen läßt man im allgemeinen eine bestimmte Menge Dampf von bestimmtem Druck auf einen bestimmten niederen Druck adiabatisch, d. h. ohne Wärme-Zu- und Abfuhr expandieren.

In Figur 1 ist ein solcher theoretischer Expansionsvorgang gekennzeichnet. Ein Dampfvolumen V_1 von

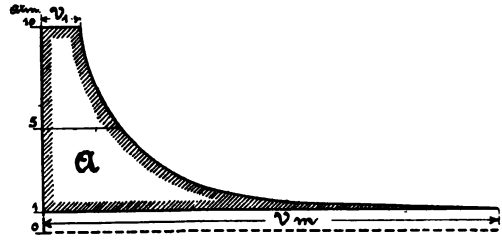


Fig. 1.

10 Atmosphären absoluter Spannung möge auf 1 Atmosphäre — die Spannung der atmosphärischen Luft — expandieren. Der Druck nimmt mit der Vergrößerung des Volumens ab, bis er bei einem Volumen V_m vollkommen auf die atmosphärische Spannung von 1 Atmosphäre expandiert ist, also seine ganze Arbeit abgegeben hat. Die schraffierte Fläche A ist die theoretisch mögliche Arbeitsleistung des vollkommen expandierten Dampfvolumens V_1 bei Auspuff ins Freie.

Bei Anschluß an eine Kondensationsanlage kann das Dampfvolumen noch weiter expandiert werden, und zwar

Digitized by Google

bei absolutem Vakuum auf 0 Atmosphäre, sodaß also die theoretisch mögliche Arbeitsleistung noch erheblich weiter gesteigert werden kann, was ja auch bei größeren Maschinen zur besseren Dampfausnützung geschieht.

Es fragt sich nunmehr, wie weit können moderne Dampfmaschinen, und wie weit Dampfturbinen diese theoretisch mögliche Arbeitsleistung tatsächlich erreichen.

Wir betrachten dazu zunächst eine Einzylinder-Auspuffmaschine. Bei normaler Füllung erhält sie bei 10 Atmosphären absolut die Dampfmenge V_1 (Fig. 2) und expandiert

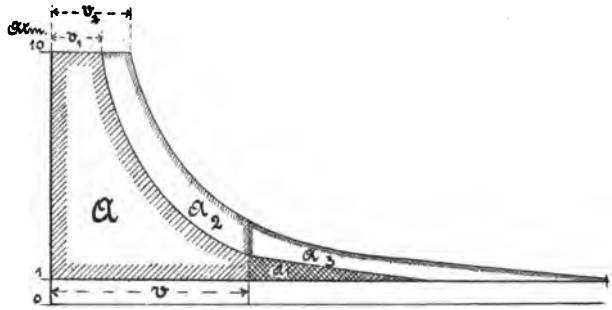


Fig. 2.

sie auf das Zylindervolumen V. Der Dampf geht also nicht voll expandiert ins Freie und jedenfalls geht von der Gesamtarbeit der Teil A_1 vollständig verloren.

Bei maximaler Füllung, also bei einem anfänglichen Dampfvolumen V_2 und einer um A_2 vergrößerten Arbeit erhöht sich der Verlust noch um die Fläche A_3.

In Wirklichkeit sind die Verluste noch größer, wir wollen aber zunächst nur von den theoretischen Verlusten sprechen.

Digitized by Google

Man könnte die genannten Verluste dadurch verringern, daß man das Zylindervolumen vergrößert. Hierdurch würde jedoch zugleich die Maschine vergrößert und verteuert, sodaß sie nicht mehr wettbewerbsfähig ist; außerdem würde bei zu großem Zylindervolumen die Neigung zu Kondensationen infolge verstärkter Abkühlung der größeren Zylinderoberfläche größer, und es würde die Dampfmaschine bei geringeren Belastungen Gegendruck erhalten. So sieht man denn auch bei zu groß bemessenen Zylindern bei geringeren Belastungen das Indikatordiagramm am Ende eine Schleife bilden, was bekanntlich diesen Gegendruck nachweist. Es stellt also die oben betrachtete Dampfmaschine eine solche dar, wie sie aus Gründen der Praxis nicht anders gebaut würde. Die theoretischen Verluste dieser Maschinen für die indizierte Leistung betragen bei normaler Füllung ca. 8 bis 10% und bei maximaler Füllung 15 bis 20%, gute Maschinen vorausgesetzt.

Dampfmaschinen mit Kondensation lassen ja an sich eine bedeutend größere Dampfausnutzung zu, da sie noch einen Teil der Energie des von 1 Atmosphäre auf Vakuum expandierten Dampfes gestatten; dagegen arbeiten sie, wenn auch im ganzen ökonomischer als Auspuffmaschinen, so doch prozentual zu ihrer möglichen Dampfausnutzung erheblich schlechter.

In Figur 3 ist die theoretische Arbeit einer Dreifach-Expansions-Dampfmaschine mit Kondensation verdeutlicht. Das Dampfquantum V von 10 Atmosphären absolut expandiert im ersten Zylinder auf das Zylinder-Volumen V_I, im zweiten auf V_{II} und im dritten auf V_{III}.

In der Praxis wird man wohl kaum auf über 0,1 Atmosphäre absolut expandieren können, sodaß die Fläche 0,1

Digitized by Google

bis 0 Atmosphäre einen ersten Verlust bedeutet. Ferner verliert man die Fläche A_1 und bei maximaler Füllung die Fläche $A_1 + A_2$, während man A_3 noch gewinnt.

Die prozentualen Verluste dieser Maschinen betragen bei normaler Füllung 22 bis 25 %, bei maximaler Füllung

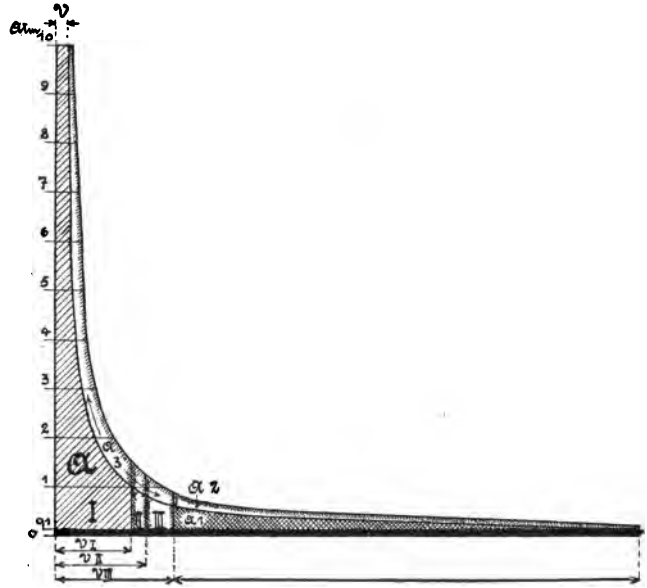


Fig. 3.

30 bis 40 % der gesamten theoretischen Dampfenergie. Bei Einzylinder-Kondensationsmaschinen betragen sie ca. 30 bis 35 % bei normaler und ca. 40 bis 50 % bei maximaler Füllung. Bei einer Zweifach-Expansionsmaschine ca. 26 bis 30 % bezw. ca 35 bis 40 %.

Außer diesen theoretischen Verlusten treten bei Dampfmaschinen noch die Verluste aus der Unvollkommenheit des Arbeitsprozesses hinzu, wie die Verluste durch schäd-

Digitized by Google

lichen Raum, durch Kompressionen, durch Kondensation infolge Abkühlung der Zylinderwandungen u. s. w. Daher unterscheiden sich auch die praktischen Indikatordiagramme noch wesentlich von den vorbetrachteten theoretisch möglichen, wie Fig. 4 andeutet, und so kommt es,

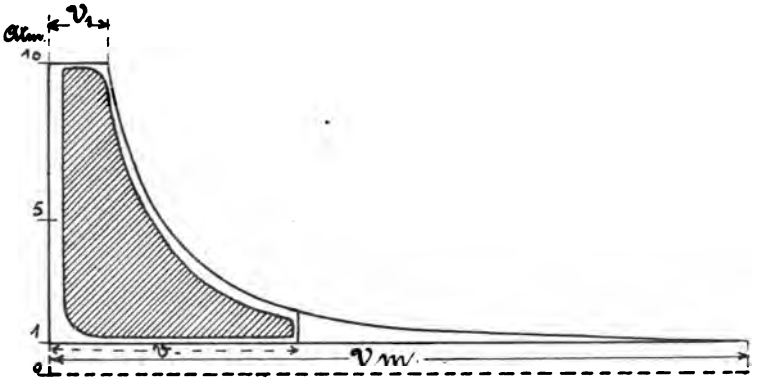


Fig. 4.

daß die wirklichen Indikator-Diagramme guter Dampfmaschinen bei normaler Füllung etwa folgende prozentuale Ausnützung der theoretischen Dampfenergie geben:

Art der Maschine:	Indizierte Leistung in % der gesamten theoretischen Dampfleistung
1. Einzylinder-Auspuffmaschine	ca. 70 bis 80 %
2. Einzylinder-Kondensationsmaschine	- 42 - 45 -
3. Zweizylinder-Kondensationsmaschine	- 50 - 55 -
4. Dreizylinder-Kondensationsmaschine	- 60 - 65 -

Damit sind die Verluste der Dampfmaschinen noch nicht erschöpft, denn bislang besitzen wir lediglich die indizierten Leistungen. Von diesen gehen aber durch

Digitized by Google

die Eigenreibung der Maschine und des gesamten Getriebes bis zur rotierenden Bewegung noch weitere 15 bis 20 % verloren, sodaß die effektive Nutzleistung der Dampfmaschinen bezogen auf die gesamte theoretisch mögliche Energieleistung des arbeitenden Dampfquantums, in Prozenten ausgedrückt, nur etwa die folgende ist:

Art der Maschine:	Effektive Leistung in % der gesamten theoretischen Dampfleistung
1. Einzylinder-Auspuffmaschine	ca. 55 bis 65 %
2. Einzylinder-Kondensationsmaschine	- 36 - 39 -
3. Zweizylinder-Kondensationsmaschine	- 43 - 47 -
4. Dreizylinder-Kondensationsmaschine	- 51 - 55 -

Theoretisch wäre es, wie bereits erwähnt, durch Vergrößerung der Zylindervolumen zweifellos möglich, eine höhere prozentuale Dampfausnützung zu erzielen; dadurch würden aber die ganzen Dampfmaschinen erheblich größer und teuerer, außerdem würden auch die Verlustquellen, wie die schädlichen Räume, die Kompression, die Kondensationen im Zylinder etc. größer, und so sind im vorstehenden nur Maschinen betrachtet, wie sie sich mit Rücksicht auf alle möglichen Gesichtspunkte für die Praxis als die günstigsten stellen.

Es geht daher aus allem hervor, daß selbst die besten und modernsten Dampfmaschinen bezüglich der möglichen Dampfausnützung einen relativ geringen Wirkungsgrad haben, und wenn heute auch noch Verbesserungen etwa durch überhitzten Dampf möglich sind, so werden sie die Verluste doch nur wenig verringern.

Digitized by Google

III. AUSNÜTZUNG DER KINETISCHEN ENERGIE DES DAMPFES BEI DAMPFTURBINEN.

Die Ausnützung der kinetischen Dampfenergie ist bei einer theoretisch richtigen Dampfturbine grundsätzlich eine günstigere und zwar aus folgenden Gründen:

1. Der Dampf kann voll expandieren, ohne an ein Zylindervolumen wie bei Dampfmaschinen gebunden zu sein.
2. Die Expansion kann wesentlich weiter getrieben werden als bei Dampfmaschinen, sodaß der Dampf bei Auspuffmaschinen mit etwa 1,1 Atmosphären absolut, bei Kondensationsmaschinen mit 0,1 ja sogar mit 0,05 Atmosphären absolut austritt und somit das theoretisch mögliche Arbeitsquantum des ursprünglichen Dampfvolumens bis auf wenige Prozente voll nutzbar macht.
3. Die Kondensationsverluste in der Turbine können wesentlich geringer sein als bei Dampfmaschinen, da der Dampf stets an derselben Stelle aus- und eintritt, die Stellen also stets gleich warm bleiben, während bei den Dampfmaschinen der Dampf abwechselnd am einen oder andern Zylinderende ein- und austritt, also diese Stellen abwechselnd erwärmt oder abkühlt. Wenn sich auch bald eine mittlere Temperatur der Zylinderwandungen einstellt, so ist diese doch stets geringer als die des einströmenden Dampfes und verursacht hierdurch stets Kondensationsverluste.

Digitized by Google

4. Verluste durch Kompressionen brauchen nicht aufzutreten.
5. Der mechanische Wirkungsgrad der Dampfturbine ist höher, denn die Turbine erzeugt unmittelbar drehende Bewegung, während die Dampfmaschine dazu erst eine hin- und hergehende Bewegung erzeugt, welche wiederum durch kraftverzehrende Zwischenglieder in rotierende Bewegung umgesetzt wird. Dieser Kraftverlust beträgt aber gegen 15 bis 20 %.

Die Dampfturbine hat also die Möglichkeit der theoretisch höchsten Ausnützung der eingeleiteten Dampfenergie bis auf wenige Prozente, während die Dampfmaschine selbst bei den größten denkbaren Fortschritten über einen relativ niedrigen Wirkungsgrad nicht hinaus kommen kann.

So theoretisch einfach sich diese Überlegenheit der Dampfturbine über die Dampfmaschine auch skizziert, so schwierig ist es gewesen, in der Praxis Turbinen zu konstruieren, welche schon jetzt die Dampfmaschinen bezüglich des Dampfverbrauchs übertreffen.

Darüber Näheres im folgenden Abschnitt.

IV. GRUNDSÄTZLICHE SCHWIERIGKEITEN DES DAMPFTURBINENPROBLEMS.

Bei Dampfmaschinen wird ein Quantum Dampf von bestimmtem Druck in den Dampfzylinder gelassen und dort expandiert. Erst nach vollendeter Expansion, bezw. nach einer vollen Hubbewegung, tritt neuer Dampf ein.

Digitized by Google

Dieser Prozeß ist ein relativ langsamer und gibt den Dampfmaschinen für viele Zwecke eher eine zu langsame rotierende Bewegung.

Bei Dampfturbinen wird die Strömungsenergie des Dampfes als Triebmittel benutzt. Diese aber ist eine ganz außergewöhnlich hohe; so hat der Dampf bei etwa 10 Atmosphären Überdruck, 250° C. und einem Vakuum von 90 % eine Geschwindigkeit von ca. 1200 m per Sekunde. Wird angenommen, daß ein Schaufelrad seine beste mechanische Leistung gibt, wenn es sich nur etwa $^1/_3$ so schnell bewegt wie das Triebmittel — die richtige Grenze liegt zwischen $^1/_3$ und $^1/_2$ —, so müßte das Rad für 400 m Umfangsgeschwindigkeit konstruiert sein, eine Größe, die das praktisch anstrebenswerte Maß übersteigt und an das Radmaterial und dessen Konstruktion außergewöhnliche Ansprüche stellt. Verlangt man ferner eine praktisch noch verwertbare Tourenzahl von höchstens 3000 pro Minute, so käme man auf einen Raddurchmesser von 2,5 m, was für kleine Turbinen zu groß ist. Nimmt man aber den Schaufelraddurchmesser klein, wie bekanntlich Laval, so steigert sich bei etwa 300 bis 500 mm Raddurchmesser die Tourenzahl auf 25000 bis 15000 pro Minute und macht, um praktisch anwendbar zu sein, ein diffiziles Zahnradvorgelege nötig. Man steht also hier vor der Unmöglichkeit praktisch einfacher und mit normalem Material ausführbarer Konstruktionen.

Dabei ist diese Dampfturbinenart theoretisch sehr günstig, weil sie, wenn richtig konstruiert, mit den geringsten Dampfverlusten zu rechnen hat. Dampf wirkt mit voller Expansion auf das Rad und gibt ihm seine gesamte Energie ab. Der einzige Verlust liegt in der

Digitized by Google

Reibung bei Durchgang durch die Einströmdüse, durch die Schaufeln und dem Betrag an Energie, welcher der Geschwindigkeit des austretenden Dampfes entspricht.

Die Reibungsverluste können bei dem kleinen Arbeitsweg gering gehalten werden, und ferner braucht die Austrittsgeschwindigkeit des Dampfes bei richtiger Anordnung nicht mehr groß zu sein.

Die Hauptschwierigkeit bei der Konstruktion von Dampfturbinen liegt also in der Schwierigkeit, die hohe Dampfgeschwindigkeit ohne zu große Verluste und mit konstruktiv einfachen Mitteln in eine rotierende Bewegung von relativ geringer Tourenzahl und Umfangsgeschwindigkeit umzuformen.

V. MÖGLICHKEITEN, DIE GRUNDSÄTZLICHEN SCHWIERIGKEITEN BEIM DAMPFTURBINEN-PROBLEM ZU BEHEBEN.

Die Schwierigkeiten infolge der hohen Dampfgeschwindigkeit lassen sich theoretisch auf folgenden drei Wegen beheben:

1. Man läßt den Dampf in mehreren Druckstufen expandieren, oder
2. man führt Geschwindigkeitsstufen ein, oder
3. man arbeitet mit einer Kombination von Druck- und Geschwindigkeitsstufen.

Wir wollen in folgendem das Prinzip dieser drei Hilfsmittel kurz behandeln und in einem späteren Kapitel an Hand bestehender Turbinen die Vorteile und Nachteile eingehender zu schildern versuchen.

Digitized by Google

A. AKTIONS-DAMPFTURBINEN MIT DRUCKSTUFEN.

Der Begriff Druckstufe besagt, daß man den Dampf stufenweise expandiert, also in der ersten Stufe vom vollen Dampfdruck auf einen niederen, in einer zweiten Stufe von diesem niederen Druck auf einen niedrigeren u. s. f. und schließlich in der letzten Stufe auf Auspuff- bezw. Kondensatorspannung. Nach jeder dieser einzelnen Expansionsstufen läßt man den Dampf auf das Laufrad, bezw. die Laufräder wirken. Meist werden ebensoviel Laufräder verwendet wie Druckstufen vorhanden sind, während die Expansionen durch ebensoviele feststehende Leiträder bewirkt werden.

Die Unterteilung in Druckstufen kann annähernd in einem Verhältnis geschehen, sodaß auf jede Stufe nahezu die gleiche Arbeitsleistung entfällt. Für die Arbeitsleistung gibt das theoretische Expansionsdiagramm die beste Unterlage. Je nach der Zahl der Stufen teilt man die ganze Expansionsfläche in eine entsprechende Zahl Flächen gleichen Inhalts, woraus sich dann ergibt, bis zu welchem Druck annähernd in jeder Stufe expandiert wird. So würde z. B. bei Kondensationsturbinen und zwei Druckstufen in der ersten Stufe auf etwa 1,1 Atmosphären absoluten Druck expandiert und in der zweiten Stufe auf Vakuum. Man hat in diesem Falle zugleich den Vorteil, daß die Hochdruckturbine keinerlei Dichtung nach außen benötigt, da der Druck im Gehäuse nahezu dem der umgebenden Luft entspricht.

Der Vorteil der Unterteilung des gesamten Drucks in Druckstufen liegt in der Verminderung der Dampfgeschwindigkeit. Wird z. B. mit überhitztem Dampf von

Digitized by Google

10 Atmosphären Überdruck und 250° C. sowie mit 90 % Vakuum gearbeitet, so treten je nach der Zahl der Druckstufen folgende Dampfgeschwindigkeiten auf:

Zahl der Druckstufen	Dampf-Geschwindigkeit
1	1200 Meter per Sekunde
2	850 „ „ „
4	600 „ „ „
8	425 „ „ „
16	300 „ „ „
32	212 „ „ „

Man ist also durch Verwendung von Druckstufen in der Lage, die im vorigen Kapitel erwähnte hohe Dampfgeschwindigkeit und somit auch die Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder auf ein brauchbares Maß herabzumindern. Dabei hat man noch den besonderen Vorteil, daß die Verluste durch Reibung des Dampfes mit Verringerung der Dampfgeschwindigkeit quadratisch abnehmen.

Als Nachteile sind zu nennen, daß man doch schon eine größere Zahl von Druckstufen benötigt, um auf eine niedere Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder zu kommen. Soll z. B. nicht viel über 100 m Umfangsgeschwindigkeit gegangen werden, so sind bereits 16 Druckstufen erforderlich, wenn sich die Räder mit $^1/_3$ der Dampfgeschwindigkeit bewegen. Das bedingt weiter, daß diese 16 Stufen gut gegeneinander abgedichtet sind, damit nicht Dampfteile nur einen Teil der Stufen passieren, die anderen überspringen, ohne mechanische Arbeit zu leisten. Diese unumgänglich nötige gute Abdichtung macht es des weiteren fast unmöglich, Druckstufen bei nur einem einzigen Laufrad an-

Digitized by Google

zuwenden, da die Verluste durch den Spalt zwischen Laufrad und Gehäuse zu groß würden, und so erfordert die praktische Verwendung von Druckstufen ebensoviel Laufräder wie Stufen und außerdem noch eine gute Dichtung zwischen den Stufen. Darüber später ausführlicher. Hier handelt es sich zunächst darum, die grundsätzlichen Vorteile und Nachteile der Druckstufen im allgemeinen anzudeuten.

B. AKTIONS-DAMPFTURBINEN MIT GESCHWINDIGKEITSSTUFEN.

Mittels Geschwindigkeitsstufen kann die relative Dampfgeschwindigkeit mit weit weniger Stufen auf ein brauchbares Maß reduziert werden. Zu dem Ende wird der Dampf in der Einströmdüse bezw. in dem Düsensystem bezw. Leitrad voll expandiert. Er erreicht also bei 10 Atmosphären, 250° C. und 90 % Vakuum volle 1200 m. Bei 4 Geschwindigkeitsstufen würde man den Dampf in der ersten Stufe so durch das Laufrad führen, daß er noch mit etwa $^3/_4$ der Geschwindigkeit austritt, in der zweiten Stufe mit etwa $^1/_2$, in der dritten Stufe mit etwa $^1/_4$ und in der vierten Stufe nur mehr mit einer kleinen Austrittsgeschwindigkeit. Ist die Turbine so eingerichtet, daß das Laufrad sich mit $^1/_3$ der Geschwindigkeit des Dampfes bewegt, so hätte man die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades von 400 m per Sekunde bei einer einzigen Geschwindigkeitsstufe, auf 100 m per Sekunde bei 4 Stufen erniedrigt.

Während also bei Druckstufen 16 Stufen notwendig sind, um auf etwa 100 m Umfangsgeschwindigkeit per Sekunde zu kommen, erreichen dies bereits 4 Geschwindigkeitsstufen.

Digitized by Google

Die Verwendung von Geschwindigkeitsstufen ist daher konstruktiv recht einfach, namentlich aber noch dadurch, daß man die Stufen um ein und dasselbe Rad legen kann. Denn da alle Stufen gleichen Druck haben wie das Gehäuse auch, so liegt für den Dampf keine Veranlassung vor, einen anderen Weg zu nehmen als den des geringsten Widerstands, und das ist zweifellos der vorgeschriebene Arbeitsweg, denn er wird so reibungsfrei wie irgend möglich konstruiert sein. Darüber später ausführlicher.

Als theoretischer Nachteil dieser an sich äußerst einfachen Anordnung ist zu bemerken, daß mit sehr hoher Dampfgeschwindigkeit gearbeitet wird, daß die Dampfumführungen, namentlich bei nur einem Laufrad, relativ lange, kurvenförmige sind, sodaß die Verluste durch die Reibung des Dampfes immerhin eine Rolle spielen.

Diese Verluste zusammen mit der Tatsache, daß die Reibungsverluste mit verringerter Dampfgeschwindigkeit quadratisch abnehmen, gibt zu erkennen, daß die bessere Lösung des Problems in einer Vereinigung von Geschwindigkeitsstufen und Druckstufen liegt.

C. AKTIONS-DAMPFTURBINEN MIT EINER VEREINIGUNG VON DRUCKSTUFEN UND GESCHWINDIGKEITSSTUFEN.

Diese Turbinen haben den Vorteil, ohne eine zu große Anzahl von Druckstufen, also eine zu große Zahl von Lauf- und Leiträdern, sowie schwierigen Abdichtungen der einzelnen Stufen untereinander nötig zu machen, zu geringen Umfangsgeschwindigkeiten und einfachen Konstruktionen zu führen und dabei mit verminderter Dampfgeschwindigkeit zu arbeiten, also auch die Reibungsver-

Digitized by Google

luste wesentlich zu vermindern. Soll z. B. die Turbine nicht über 90 m Umfangsgeschwindigkeit per Sekunde haben, wenn sich die Laufräder mit etwa $^1/_3$ der Dampfgeschwindigkeit bewegen, so genügen 2 Druckstufen und in jeder Druckstufe 3 Geschwindigkeitsstufen.

Rechnerisch würde diese Turbine im Vergleich zu einer Turbine mit 1 Druckstufe und 4 Geschwindigkeitsstufen, welche unter den gleichen Annahmen 100 m Umfangsgeschwindigkeit besitzt, das folgende Resultat ergeben:

Die Reibungsverluste vermindern sich im Verhältnis des Quadrats der Dampfgeschwindigkeiten (1200 m per Sekunde bezw. 850 m per Sekunde), sie erhöhen sich anderseits im Verhältnis der Zahl der Geschwindigkeitsstufen. Im ersten Falle hat man $2 \cdot 3 = 6$ Stufen, im zweiten Falle 4. Ausführungen in der Praxis haben gezeigt, daß eine 50-pferdige Kondensations-Turbine mit 1 Druckstufe und 4 Geschwindigkeitsstufen für 9—10 kg Dampf pro eff. P. S.-Stunde konstruiert werden kann. Die Turbine mit 2 Druckstufen und je drei Geschwindigkeitsstufen würde darnach den folgenden Dampfverbrauch pro eff. P. S.-Stunde erzielen können:

$$\frac{850^2}{1200^2} \cdot \frac{6}{4} \cdot 10 = 7{,}5 \text{ kg pro eff. P. S.-Stunde}$$

beziehungsweise:

$$\frac{850^2}{1200^2} \cdot \frac{6}{4} \cdot 9 = 6{,}75 \text{ kg pro eff. P. S.-Stunde,}$$

ein Dampfverbrauch, der jedenfalls ein günstiger genannt werden kann.

Digitized by Google

VI. EINFLUSS DER VERWENDUNG VON DRUCKSTUFEN, GESCHWINDIGKEITSSTUFEN BEZW. EINER VEREINIGUNG VON DRUCKSTUFEN UND GESCHWINDIGKEITSSTUFEN AUF DIE PRAKTISCHE KONSTRUKTION VON DAMPFTURBINEN.

Nach den mehr grundsätzlichen Erörterungen des vorstehenden Kapitels sei in folgendem etwas eingehender auf die Verwendung von Druck- bezw. Geschwindigkeitsstufen, bezw. einer Vereinigung beider und ihren Einfluß auf die praktische Konstruktion von Dampfturbinen eingegangen. Zu dem Ende sei eine recht interessante Tabelle benutzt, welche Herr Ingenieur Kolb vor einiger Zeit im Karlsruher Bezirksverein Deutscher Ingenieure vorbrachte, und welche die verschiedenen Konstruktionsmöglichkeiten von Aktions-Dampfturbinen übersichtlich zusammenfaßt.

Die Tabelle setzt den Betrieb von Aktionsturbinen mit überhitztem Dampf von 10 Atmosphären Überdruck, 250° C. und Vakuum von 90% voraus. Sie enthält die wesentlichen Größen, die für die Praxis ausschlaggebend sind, nämlich die Dampfgeschwindigkeiten, die mittlere Umfangsgeschwindigkeiten der Laufräder, ihre mittleren Durchmesser bei den verschiedenen Tourenzahlen unter der Annahme, daß sich die Laufräder mit $^1/_3$ der Dampfgeschwindigkeit bewegen. Im allgemeinen liegt bei Aktionsturbinen die günstigste Laufradgeschwindigkeit zwischen $^1/_3$ und $^1/_2$ der Dampfgeschwindigkeit. Bei unserer mehr grundsätzlichen Behandlung genügt es jedoch, eine feste Annahme, also etwa $^1/_3$, als Norm zu nehmen und sie der ganzen Tabelle zu Grunde zu legen.

Digitized by Google

Da die meisten bekannten Turbinen mit mehr als einem Laufrad arbeiten, welche unter Umständen verschieden große Durchmesser haben, so ist in der Tabelle der mittlere Laufrad-Durchmesser und demgemäß auch die mittlere Umfangsgeschwindigkeit zu Grunde gelegt.

Als Tourenzahlen sind in der Tabelle nur solche berücksichtigt, welche für praktische Betriebe, namentlich für elektrische, noch direkt verwertbar sind, ohne daß zu Übersetzungen gegriffen werden muß.

Nach diesen Vorausschickungen sei die Tabelle (s. S. 19) näher betrachtet.

Von einer praktisch guten Turbine verlangt man eine möglichst niedere Tourenzahl, einen möglichst geringen Durchmesser des, bezw. der Laufräder und eine so niedere Umfangsgeschwindigkeit, sodaß noch normales Konstruktionsmaterial und normale Konstruktionsmittel Verwendung finden können.

Als höchst zulässige Touren für kleine und mittelgroße Turbinen bis etwa 500 P. S. wird man 3000 Touren pro Minute als obere Grenze ansehen. Darüber hinaus 1500 und 1000 Touren pro Minute und für ganz große 750 bis 500 Touren pro Minute. Für Schiffsantriebe muß jedoch zur Zeit noch wesentlich tiefer, bis auf etwa 200 pro Minute, gegangen werden, um einen direkten Antrieb der Schrauben zu ermöglichen.

Als Umfangsgeschwindigkeiten für die Laufräder wird augenblicklich wohl 80 bis 100 m pro Sekunde als das Anstrebenswerteste angesehen, denn soweit läßt sich gutes normales Material noch mit Sicherheit verwenden.

Als Raddurchmesser wird man bei Turbinen unter 100 P. S. kaum über 400 bis 1000 mm gehen wollen, da

Digitized by Google

Tabelle über Aktions-Dampfturbinen.

Zahl der Geschwindigkeits-Stufen	Zahl der Druckstufen		1	2	4	8	16	32
	Dampf-Geschwindigkeit bei 10 Atm. Überdruck, 90 % Vak. und 250° C. in m per sec.		1 200	850	600	425	300	212
1	Mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder in m per sec.		400	270	200	150	110	84
	Touren pro Min.	Mittlerer Laufrad-Durchmesser in mm						
	3 000		2 500	1 700	1 250	950	700	530
	1 500		5 000	3 400	2 500	1 900	1 400	1 060
	1 000		7 500	5 100	3 750	2 850	2 100	1 590
	750		10 000	6 800	5 000	3 800	2 800	2 120
	500		15 000	10 200	7 500	5 700	4 200	3 180
2	Mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder in m per sec.		200	135	100	75	55	42
	Touren pro Min.	Mittlerer Laufrad-Durchmesser in mm						
	3 000		1 250	850	625	475	350	265
	1 500		2 500	1 700	1 250	950	700	530
	1 000		3 750	2 550	1 875	1 425	1 050	795
	750		5 000	3 400	2 500	1 900	1 400	1 060
	500		7 500	5 100	3 750	2 850	2 100	1 590
3	Mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder in m per sec.		133	90	67	50	38	28
	Touren pro Min.	Mittlerer Laufrad-Durchmesser in mm						
	3 000		830	570	410	310	240	175
	1 500		1 660	1 140	820	620	480	350
	1 000		2 490	1 710	1 230	930	720	525
	750		3 320	2 280	1 640	1 240	960	700
	500		4 980	3 420	2 460	1 860	1 440	1 050
4	Mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder in m per sec.		100	68	50	38	28	21
	Touren pro Min.	Mittlerer Laufrad-Durchmesser in mm						
	3 000		625	425	310	240	175	132
	1 500		1 250	850	620	480	350	264
	1 000		1 875	1 275	930	720	525	396
	750		2 500	1 700	1 230	960	700	528
	500		3 750	2 550	1 860	1 440	1 050	792

Digitized by Google

sonst die Turbinen bezüglich Raumbedarf nicht besonders günstig ausfallen, und man verlangt doch gerade von Dampfturbinen geringstmöglichen Raumbedarf.

Nach diesen Gesichtspunkten seien die Aktions-Dampfturbinen mit Druckstufen, bezw. Geschwindigkeitsstufen, bezw. mit beiden zugleich näher untersucht.

A. DAMPFTURBINEN MIT DRUCKSTUFEN UND EINER GESCHWINDIGKEITSSTUFE.

In ihrem ersten Teil enthält die Tabelle die wesentlichen Daten für reine Druckstufen-Aktionsturbinen.

Bei Verwendung einer einzigen Druckstufe und nur einer Geschwindigkeitsstufe beträgt nach den gemachten Annahmen die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades 400 m per Sekunde und der Laufrad-Durchmesser selbst bei 3000 Touren noch 2,5 m. Abgesehen davon, daß die Konstruktionsschwierigkeit, die Haltbarkeit und die Betriebssicherheit von Laufrädern mit 400 m Umfangsgeschwindigkeit pro Sekunde zu Bedenken Anlaß geben, geht schon aus dem Laufrad-Durchmesser von 2,5 m hervor, daß nach diesem System nur große Turbinen konstruiert werden könnten, sollen nicht der Preis und der Raumbedarf die Konkurrenzfähigkeit gegen Dampfmaschinen in Frage stellen. Anderseits verlangt man von großen Turbinen eher eine Tourenzahl unter 3000, also von 1500 per Minute und weniger, was jedoch zu einem Laufrad-Durchmesser von 5 m und mehr führen würde, also kaum in Frage kommen kann. Eine noch geringere Tourenzahl vergrößert diesen Durchmesser entsprechend und man käme bei 500 Touren pro Minute gar auf 15 m Durch-

Digitized by Google

messer. Ein Laufrad von 15 m Durchmesser und 400 m Umfangsgeschwindigkeit ist aber doch schon ein Ding, das sich schwer mit einer praktischen Turbine in Einklang bringen läßt.

Trotzdem sind bekanntlich Aktionsturbinen mit nur einer einzigen Druckstufe konstruiert worden. So zum Beispiel die von de Laval. Allerdings nimmt de Laval kleinere Raddurchmesser und kommt dann zu entsprechend höheren Tourenzahlen (15 000 bis 25 000 pro Minute), die er mittels eines zur Turbine gehörigen Zahnrad-Vorgeleges auf eine brauchbare Tourenzahl reduzieren muß. Diese Turbine ist als technische Konstruktion hoch interessant, denn sie ist die erste, welche es riskiert hat, mit enormen Tourenzahlen und Umfangsgeschwindigkeiten zu arbeiten, und nicht ohne Erfolg.

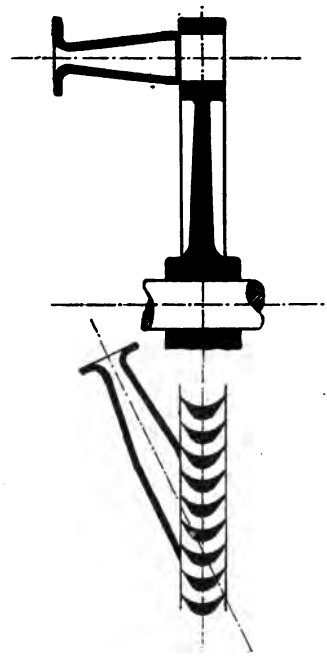


Fig. 5.

Diese Turbine gibt zugleich das grundsätzliche Bild dieser Gattung. Auf dem Schaufelkranz des Laufrades wirken eine oder mehrere Dampfdüsen, symmetrisch am Umfang angeordnet. In der Skizze Fig. 5 ist ein Düse eingezeichnet. Sie ist so konstruiert, daß der Dampf beim Austritt voll expandiert ist, somit das Maximum seiner Geschwindigkeit besitzt, nach den gemachten Annahmen also etwa 1200 m per Sekunde.

Digitized by Google

Am Austritt aus der Düse besitzt der Dampf bereits Vakuumspannung, bezw. bei Auspuff-Turbinen: Auspuffspannung. — Die Neigung der Düsen gegen die Schaufeln und die Form der Schaufeln ist so gewählt, daß der Dampf stoßfrei arbeitet. Die Austrittsgeschwindigkeit soll mög-

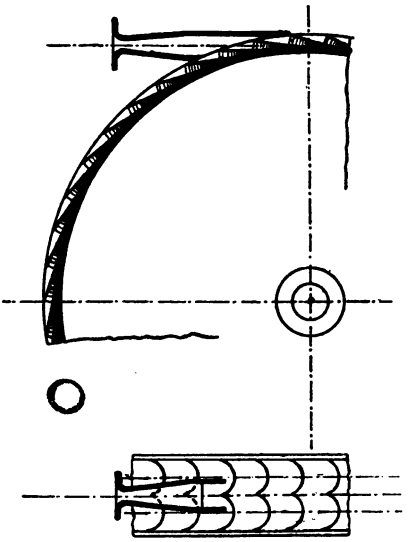


Fig. 6.

lichst gering sein, nur dann wird die Strömungsenergie des Dampfes gut ausgenützt.

Eine zweite Turbine dieser Klasse ist die einstufige Riedler-Stumpf-Turbine, deren Skizze Fig. 6 gibt. Auch hier wird der Dampf zunächst durch eine oder mehrere Einströmdüsen auf volle Geschwindigkeit expandiert und auf das Schaufelrad arbeiten gelassen. Dagegen verwenden Riedler-Stumpf an Stelle der kleinen Laval-Räder

Digitized by Google

mit sehr hohen Tourenzahlen Laufräder von großen Durchmessern mit 5000 bis 3000 Touren pro Minute. Außerdem sind die Schaufeln wie Doppeltaschen in den Radkranz eingefräst. Der Dampfstrahl trifft die Mitte des Radkranzes, wo je zwei Schaufeltaschen zusammenstoßen, und teilt sich dann in zwei Strahlen, von welchen der eine nach links, der andere nach rechts die Taschen möglichst stoßfrei durchströmt und außen austritt. Das Schaufelrad ähnelt im Prinzip dem Pelton-Schaufelrad für Wasserturbinen.

Als Material ist bester Nickelstahl verwendet, welcher dieser außerordentlichen Materialbeanspruchung gewachsen scheint. Im übrigen werden beide Turbinen in ihrem Wesen als bekannt vorausgesetzt.

Beide Turbinen sind theoretisch zweifellos recht einfach. Die Dampfwege sind kurz, daher können die Reibungsverluste gering gehalten werden. Allerdings dürfte es schwierig sein, Riedler-Stumpf-Schaufeln so zu fräsen, daß sie theoretisch absolut richtige Formen haben.

Trotzdem leiden diese Turbinen wie überhaupt sämtliche möglichen Turbinen dieser Gattung an der hohen Umfangsgeschwindigkeit der Räder, die bei kleinen Durchmessern enorme Tourenzahlen und dadurch schwierige Zahnradvorgelege nötig machen und selbst bei relativ großen Durchmessern noch recht hohe Tourenzahlen bedingen. Die Laval-Turbine wird durch das Zahnrad-Vorgelege auf kleine Kräfte bis 300 P. S. beschränkt. Die einstufige Riedler-Stumpf-Turbine wird dagegen bei ihrem großen Raddurchmesser für kleine Turbinen zu teuer und raumsperrend, für ganz große ist die Tourenzahl zu hoch und die Betriebssicherheit aller dieser Turbinen steht unter

Digitized by Google

dem Zeichen einer Laufrad-Umfangsgeschwindigkeit von 400 m per Sekunde, die man nur auf Kosten der Wirtschaftlichkeit geringer halten könnte.

Bei Verwendung mehrerer Druckstufen werden sowohl die Dampfgeschwindigkeiten wie die Laufrad-Umfangsgeschwindigkeiten entsprechend kleiner und auch die Konstruktionsbedingungen, soweit die Laufrad-Durchmesser in Frage kommen, günstiger, wie aus der Tabelle unschwer

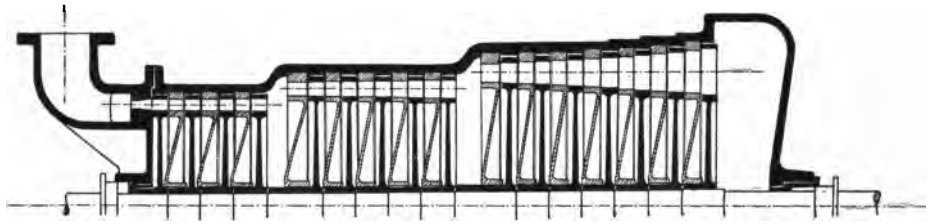


Fig. 7.

zu erkennen ist. Allerdings gelangt man erst bei 16 Stufen zu einer mittleren Laufrad-Umfangsgeschwindigkeit von 110 m per Sekunde, eine Größe, die noch normales Material und normale Konstruktionsmittel zuläßt und auch bezüglich der Laufrad-Durchmesser selbst bei geringen Tourenzahlen noch in praktischen Grenzen bleibt.

Als Turbinen dieser Art können die von Zölly und von Rateau gelten; beide sind in der Literatur bekannt, sodaß die Skizze Fig. 7 genügt, um das Prinzipielle zu erläutern. Der Dampf tritt zunächst durch ein Leitrad, welches den Dampf auf die erste Stufe expandiert, von da stoßfrei in das erste Laufrad, dann in das zweite Leitrad, welches ein weiteres Druckgefälle bewirkt, u. s. f., bis der Dampf im letzten Leitrad auf nahezu Vakuum-Spannung

Digitized by Google

expandiert, in das letzte Laufrad und von da aus in den Kondensator eintritt. Da sich das Dampfvolumen bei der Expansion stark vergrößert, so wird der Laufrad-Durchmesser mit steigender Expansion gruppenweise größer genommen, wie in der Skizze durch die drei Rädergruppen angedeutet.

Dem Konstrukteur stellt diese Gattung von Turbinen eine nicht leichte Aufgabe. Zunächst müssen die einzelnen Druckstufen gut gegeneinander abgedichtet sein, sonst gehen Dampfteile eventuell garnicht erst durch die Schaufelkränze. Daher reichen in der Skizze die Leiträder bis nahe an die Welle, ohne jedoch zu streifen, die Laufräder bis nahe an den Gehäuseumfang, ohne ihn zu berühren. Der Zwischenraum zwischen Leit- und Laufrad muß gering sein, kurzum, es muß jeder andere als der vorgeschriebene Arbeitsweg möglichst hohen Widerstand bieten.

Dabei müssen überall freie Lufträume bleiben, denn wirkliche Abdichtungen mit Ausnahme von Labyrinth-Dichtungen sind bei Dampfturbinen praktisch unanwendbar. Das würde schon die enorme Reibung so vieler wirklicher Dichtungen verbieten, und dann auch die hohe Dampftemperatur, denn gerade in der Möglichkeit der Verwendung stark überhitzten Dampfes soll eine weitere Überlegenheit der Turbinen über Dampfmaschinen möglich gemacht werden. Durch die hohen Wärmegrade muß aber sehr mit der Ausdehnung der einzelnen Teile durch die Wärme gerechnet werden, welche bei langen Turbinen mit vielen Lauf- und Leiträdern recht erheblich wird, es also noch schwieriger macht, einerseits die Spalte so eng wie möglich zu halten und anderseits zu gewährleisten, daß trotz den Ausdehnungen durch die Wärme die Tur-

Digitized by Google

bine weder in kaltem noch in warmem Zustande streift. Dazu kommt noch der natürliche achsiale Druck des Dampfes in der Richtung des Dampfeintritts nach dem Dampfaustritt, welcher gleichfalls abgefangen werden muß, und so steht der Konstrukteur wahrlich nicht vor einer technisch normalen Aufgabe, und wenn sie tatsächlich gelöst erscheint, so macht sie den Konstrukteuren alle Ehre.

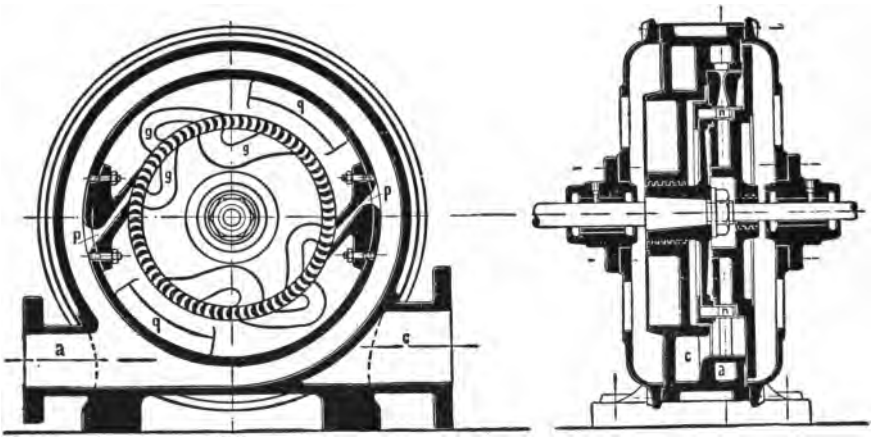


Fig. 8.

Die Schwierigkeit der Abdichtung der einzelnen Druckstufen untereinander schließt leider eine konstruktiv recht einfache Druckstufen-Turbine mit nur einem einzigen Laufrad aus ökonomischen Gründen aus. Man könnte, wie in Fig. 8 skizziert, den Dampf in den Umführungen g, g, g u. s. f. stufenweise expandieren und nach jeder Stufe auf ein und dasselbe Laufrad wirken lassen. Im Prinzip ist diese Anordnung äußerst einfach. In Wirklichkeit aber dürften erhebliche Spaltverluste eintreten, da zwischen dem

Digitized by Google

Laufrad und den beiden Düsenringen immerhin Spielraum bleiben muß, durch welchen der Dampf zum Teil direkt in das Gehäuse und von da, ohne Arbeit zu leisten, in den Kondensator einströmen würde.

Die Schwierigkeit, eine gute Abdichtung zwischen den einzelnen Stufen mit Sicherheit zu erreichen, ist von der bekanntesten und in der Praxis verbreitetsten Turbine auf die Weise erzielt worden, daß zu einer ganz außerordentlich hohen Zahl von Druckstufen, 100 bis 180 Stufen, gegriffen worden ist. Es ist dann jedes einzelne Druckgefälle sehr klein und die Neigung, durch enge Spalte anstatt durch die weiten Schaufelkränze zu gehen, äußerst gering.

Diese Anordnung hat die bestbekannte Turbine von Brown-Boveri-Parsons. Sie ist außerdem im Gegensatz zu den vorbesprochenen Turbinen eine Reaktions-(Überdruck-)Turbine. Der Dampf arbeitet nicht nur mit einer Expansion auf die Laufräder, sondern auch mit einem bestimmten Druck. Die Laufräder erhalten dadurch eine höhere Geschwindigkeit, als sie die reine Expansion bewirkte, und zwar stellt sich das Geschwindigkeitsverhältnis ausgeführter Turbinen auf 1 : 1,4. Darnach erhält man für diese Turbinengattung bei einer günstigsten Rad-Umfangsgeschwindigkeit von 1 : 2,4 der Dampfgeschwindigkeit die umstehende Tabelle.

Die Skizze Fig. 9 gibt ein grundsätzliches Bild der Turbine, allerdings sind nicht sämtliche Druckstufen eingezeichnet. Jedenfalls vermeidet diese Turbine die Spaltverluste in hohem Maße, ferner deutet die Skizze an, daß der achsiale Druck auf die Turbine durch die Dampfpuffer aa, bb, c möglichst ausgeglichen wird. Ausführungen in

Digitized by Google

Reaktionsturbinen mit Druckstufen.

Druckstufen		100	140	180
Dampfgeschwindigkeit m per Sekunde		120	100	90
Mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder m per Sekunde		70	60	50
Touren pro Minute				
3000	Mittlerer Laufrad-Durchmesser	450	380	320
1500		900	760	640
1000		1350	1140	960
750		1800	1520	1280
500		2700	2280	1920

der Praxis beweisen die hohe Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit dieser Konstruktion. Desgleichen gibt die Tabelle zu erkennen, daß mit normalem Material und normalen Beanspruchungen konstruiert werden kann und

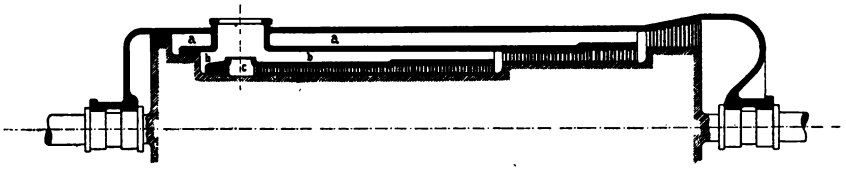


Fig. 9.

daß die Laufrad-Durchmesser selbst bei großen Turbinen und niederen Tourenzahlen noch praktisch sind. Allerdings eignet sich diese Konstruktion der vielen Lauf- und Leiträder wegen nicht für kleine Turbinen, sie würden zu teuer und gegen Dampfmaschinen wenig konkurrenzfähig. Die Verminderung der Zahl der Stufen beschränkt aber wieder die Wirtschaftlichkeit.

Digitized by Google

Trotz alledem wird die Praxis einfachere Lösungen finden müssen. Die außerordentlich hohe Schaufelzahl ist keine technische Annehmlichkeit. Die verhältnismäßig große Länge der Turbine macht besondere Lagerkonstruktionen nötig; die Turbine ist nicht einfach reversierbar wie eventuell Schiffsdampfmaschinen. Immerhin stellt sie technisch eine außerordentliche Leistung dar, und wenn der Dampfturbinenbau jetzt wirklich in Fluß gekommen ist, so verdankt man dies vor allem dieser Turbine.

B. DAMPFTURBINEN MIT GESCHWINDIGKEITSSTUFEN UND EINER DRUCKSTUFE.

Die Tabelle Seite 19 gibt zu erkennen, daß man bereits mit zwei Geschwindigkeitsstufen und nur einer Druckstufe die Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder auf 200 m per Sekunde und den mittleren Laufrad-Durchmesser auf 1250 mm bei 3000 Touren reduziert. Bei drei Geschwindigkeitsstufen und 3000 Touren sinkt die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder auf 133 m per Sekunde und der Laufrad-Durchmesser auf 830 mm. Wird die Bedingung als die praktischste angesehen, nicht über 100 m Umfangsgeschwindigkeit zu gehen, um normales Material und normale Konstruktionsmittel zu verwenden, so reichen bereits 4 Geschwindigkeitsstufen aus, und es wird der mittlere Laufrad-Durchmesser bei 3000 Touren pro Minute nur 625 mm, bei 1000 Touren, also bei großen Turbinen, erst 1875 mm, kurzum praktisch einfach ausführbar.

Diesen Weg haben einige Konstrukteure eingeschlagen, so Riedler-Stumpf, indem sie ihre Turbine mit Umkehr-

Digitized by Google

düsen versahen. Die Skizze Fig. 10 gibt davon zwei Anordnungen. Entweder der Dampf geht durch eine mittlere Einströmdüse durch beide Schaufeltaschen zugleich, wird am äußeren Kranz mittels zweier Umkehrdüsen aufgefangen, wieder vereinigt und dann noch einmal symmetrisch auf 2 weitere Schaufeltaschen wirken gelassen, von wo aus er seitlich austritt, oder der Dampf tritt erst in die

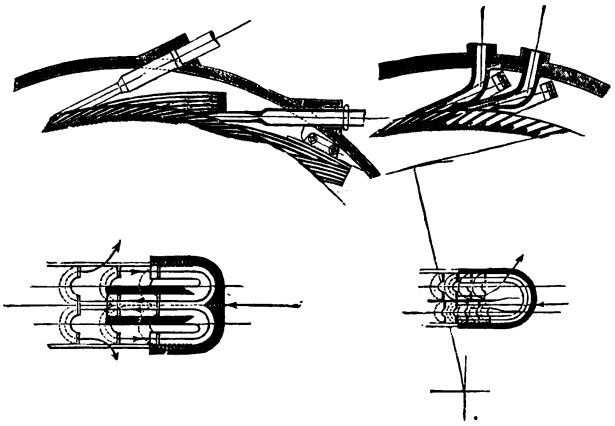


Fig. 10.

eine Schaufeltasche, wird von einer Umkehrdüse aufgefangen und durch die zweite Schaufeltasche geführt, die außerdem gemäß der fortschreitenden Expansion breiter gehalten ist.

Auch in der Anordnung mit Lauf- und Leiträdern ist die Verwendung von Geschwindigkeitsstufen eingeführt. Fig. 11 zeigt die Skizze einer Curtis-Turbine mit einer Druckstufe und 4 Geschwindigkeitsstufen. Der Dampf wird in den Einströmdüsen voll expandiert, sodaß vom Eintritt in das Turbinengehäuse ab keinerlei Druckdiffe-

Digitized by Google

renz mehr herrscht. Er durchfließt dann nacheinander die 4 Laufräder und die jeweils dazwischenliegenden 3 Leiträder.

Konstruktiv außerordentlich einfach skizziert sich die Dampfturbine von Kolb, auch Elektradampfturbine

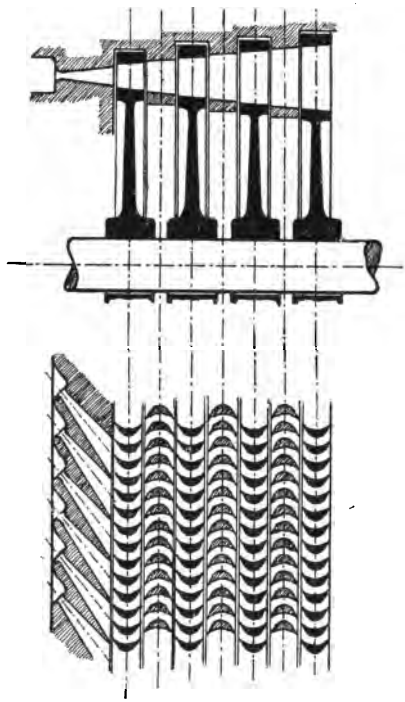


Fig. 11.

genannt, mit 4 Geschwindigkeitsstufen und nur einem Rad. Siehe Fig. 12. Sie ist in der Literatur noch wenig beschrieben und daher ein Verweilen bei ihr angezeigt. Der Dampf strömt bei a ein und umgibt in einem Kanal das ganze Turbinengehäuse, sodaß dieses schnell, gründlich und gleichmäßig vorgewärmt wird. Zwei oder mehrere

Digitized by Google

an diesem Dampfkanal symmetrisch angeschraubte Einströmdüsen p expandieren den Dampf auf volle Geschwindigkeit. Er tritt also ohne Druck in das Gehäuse, durchfließt das Schaufelrad stoßfrei ein erstes Mal, tritt in die erste Umführungsdüse g, wird durch sie dem Rad ein zweites Mal zugeführt, geht wieder in eine Düse g, darauf wieder durch das Laufrad, bis er nach dem vierten

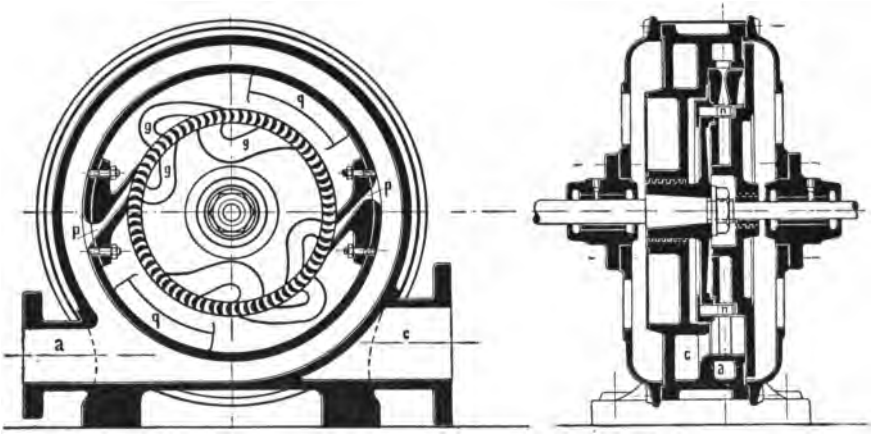


Fig. 12.

Passieren des Laufrads in die Abdampfkanäle q mündet. Auch der Abdampfkanal führt um das Gehäuse herum, von wo er durch den Stutzen c nach dem Kondensator oder ins Freie oder in den Kondensator strömt. Die Dampfführungen g erweitern sich nach Maßgabe der fortschreitenden Expansion. Die Turbine arbeitet mit einfachen Ringschmierlagern und die einzige nötige Abdichtung des Gehäuses nach außen geschieht durch je eine Labyrinthdichtung auf beiden Seiten der Welle.

Digitized by Google

So einfach wie die skizzierte Anordnung ist auch die wirkliche Ausführung (siehe Fig. 13), welche eine geöffnete Turbine zeigt. Man erkennt ein Gußgehäuse mit 2 angeschraubten Einströmdüsen und 2 Öffnungen für den Abdampf, das Laufrad mit verlängerter Welle, einerseits zur Aufnahme einer elastischen Kupplung, anderseits zur

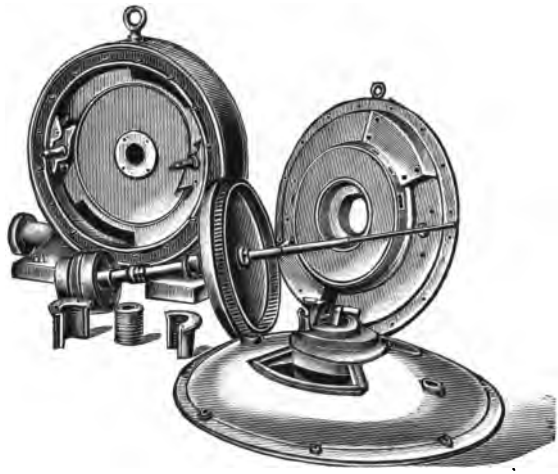


Fig. 13.

Aufnahme des Regulators. Ferner bemerkt man den Gehäusedeckel mit den angeschraubten Dampfführungsdüsen, sowie eins der Lagerschilder.

Die Einrichtung eines Laufrads gibt Fig. 14. Eine Reihe einzelner Schaufeln werden ähnlich wie Kollektorlamellen einer Gleichstrommaschine auf eine Stahlscheibe gesetzt und mit einem starken Schrumpfring gehalten.

Die Einströmdüsen, Fig. 15, enthalten eine Regulierzunge, die durch den exzentrischen Nocken am unteren Ende der Düse den Dampfkanal verengen kann, jedoch

Digitized by Google

so, daß möglichst bei allen Belastungen und Dampfquerschnitten eine volle Expansion in der Düse gewährleistet wird. Hierdurch erzielt man größte Ökonomie auch bei

Fig. 14.

geringen Belastungen. Ein weiterer Nocken gestattet die Zunge unbeschadet ihrer Regulierfähigkeit im ganzen zurückzustellen und den Dampfkanal über das normale Maß hinaus zu erweitern. So bei Überlastungen, oder um

Digitized by Google

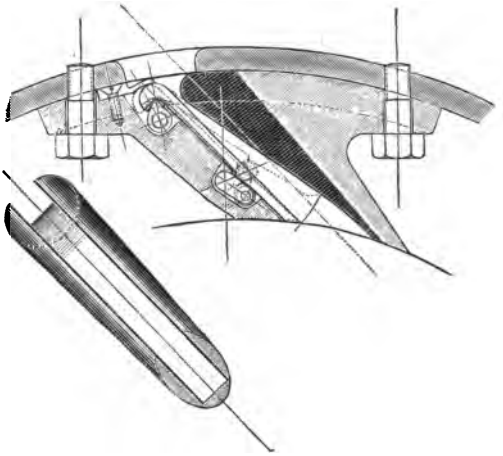


Fig. 15.

Fig. 16.

Digitized by Google

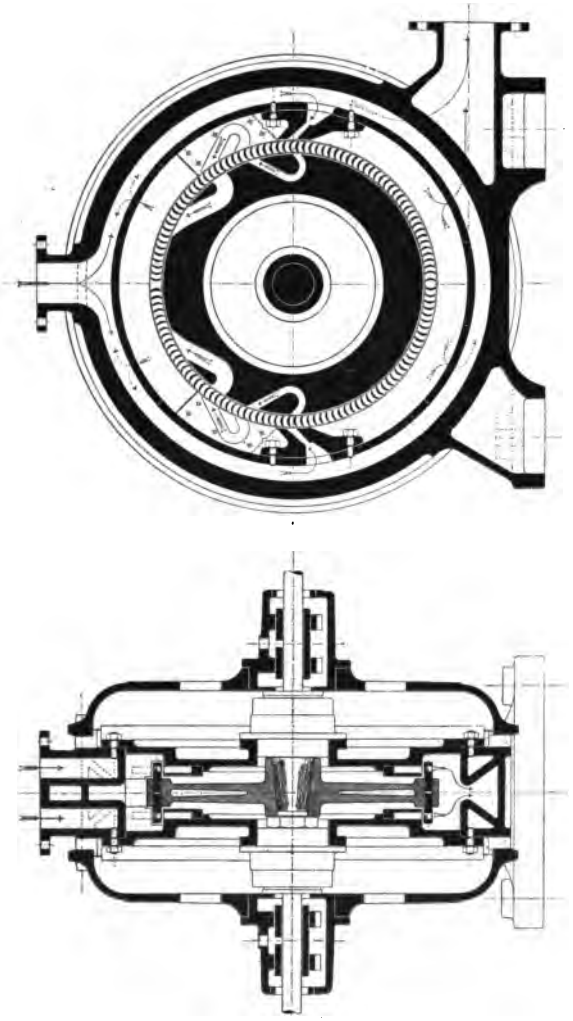


Fig. 17.

Digitized by Google

bei Versagen der Kondensation immer noch volle Last mit Auspuff zu bewältigen.

Fig. 16 endlich zeigt eine fertige Turbine mit Regulator und elastisch gekuppeltem Riemenvorgelege. —

Turbinen der betrachteten Klassen eignen sich für kleinere Kräfte, und wenn sie dabei auch zu guten Dampfverbrauchsziffern kommen, so entstehen in ihnen infolge der hohen Dampfgeschwindigkeit von 1200 m per Sekunde doch ziemliche Reibungsverluste, welche vermindert werden können.

Die Turbine von Kolb hat neben ihrer großen Einfachheit noch den Vorteil, daß sie leicht als reversierbare Turbine gebaut werden kann. Sie erhält dann entweder ein Schaufelrad mit Schaufeln nach beiden Seiten, von welchen der eine Kranz für Vorwärts-, der andere Kranz für Rückwärts-Bewegung eingestellt ist (s. Fig. 17), oder zwei getrennte Räder, ferner statt eines Düsendeckels deren zwei; auf jeder Seite einen. Ein Umsteuerventil läßt den Dampf entweder in den einen Teil der Turbine oder in den andern Teil. Im übrigen ist die Wirkungsweise aus der Skizze verständlich.

C. DAMPFTURBINEN MIT EINER VEREINIGUNG VON GESCHWINDIGKEITSSTUFEN UND DRUCKSTUFEN.

Die Tabelle S. 19 gibt ferner zu erkennen, in welcher Weise eine Kombination von Geschwindigkeitsstufen und Druckstufen auf die Konstruktionsverhättnisse einwirkt. Schon bei 2 Geschwindigkeitsstufen und 2 Druckstufen werden die Laufrad-Durchmesser bei 3000 Touren auf 850 mm und die Umfangsgeschwindigkeit auf 135 m per

Digitized by Google

Sekunde reduziert. Dabei beträgt die Dampfgeschwindigkeit unter den bekannten Annahmen nur 850 m per Sekunde, sodaß die Dampfreibungsverluste wesentlich geringer werden.

Bei 3 Geschwindigkeitsstufen und 2 Druckstufen kommt man bereits auf 90 m Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder und bei 3000 Touren auf nur 570 mm Raddurchmesser, bei 1500 Touren auf 1140 mm, bei 750 Touren auf 2280 mm. Kurzum, es stellt diese Klasse eine praktisch sehr wertvolle, einfache Type dar.

Bei ganz großen Turbinen liegt es nahe, 3 bis 4 Druckstufen und 2 bis 3 Geschwindigkeitsstufen zu wählen.

Jedenfalls bietet die Tabelle eine Fülle von Kombinationen nebst ihrem Einfluß auf die praktische Konstruktion, sowie die Wirtschaftlichkeit, die mehr und mehr von der Dampfgeschwindigkeit abhängt.

Turbinen dieser Klasse sind unter anderen die recht beachtenswerten A.E.G.-Turbinen, welche 2 Druckstufen besitzen und jede wohl 2 Geschwindigkeitsstufen. Jede Druckstufe bildet eine besondere Turbine. Zwischen beiden wird die direkt gekuppelte Dynamo gelagert. Die Turbinen haben Riedler-Stumpf-Räder.

Die Curtis-Turbinen rangieren gleichfalls darunter. In Figur 18 ist z. B. eine solche mit 2 Druckstufen und 2 Geschwindigkeitsstufen skizziert. Zwischen beiden Stufen ist der Receiver, von dem ab durch einen zweiten Satz Expansionsdüsen der Dampf voll expandiert wird. Natürlich baut Curtis je nach dem Fall auch andere Kombinationen. Diese Turbinen haben bereits den Nachweis erbracht, daß sie für die Praxis eine bedeutsame Turbinenkonstruktion darstellen.

Digitized by Google

Auch die Turbine Kolb wird schon von 50 P. S. ab mit 2 Druckstufen ausgeführt und erhält dann nur 3 Geschwindigkeitsstufen. Figur 19 zeigt die Skizze einer Kolbschen Verbund-Turbine. Die Turbine besitzt ein ge-

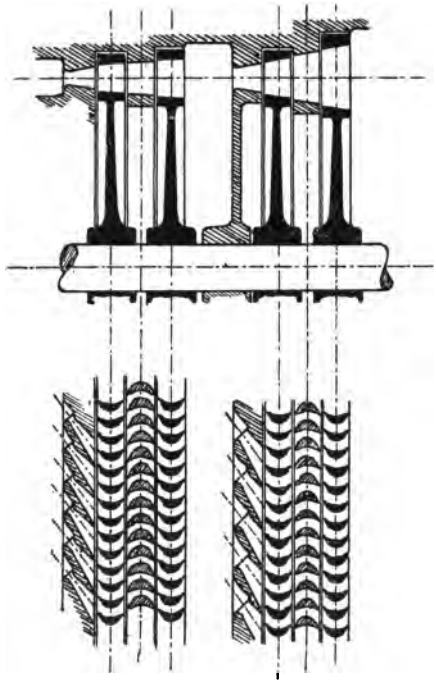


Fig. 18.

meinsames Gehäuse mit Frisch- und Abdampf-Kanälen a bezw. b, die um die ganze Turbine herumführen. Im Gehäuse wird ein Gußstück mit doppelseitigem Düsensystem eingepaßt, welches die Dampfführungen sowie im mittleren Hohlraum den Dampfreceiver c enthält. Sodann wird beiderseits je ein Laufrad R eingebracht. Der Frisch-

Digitized by Google

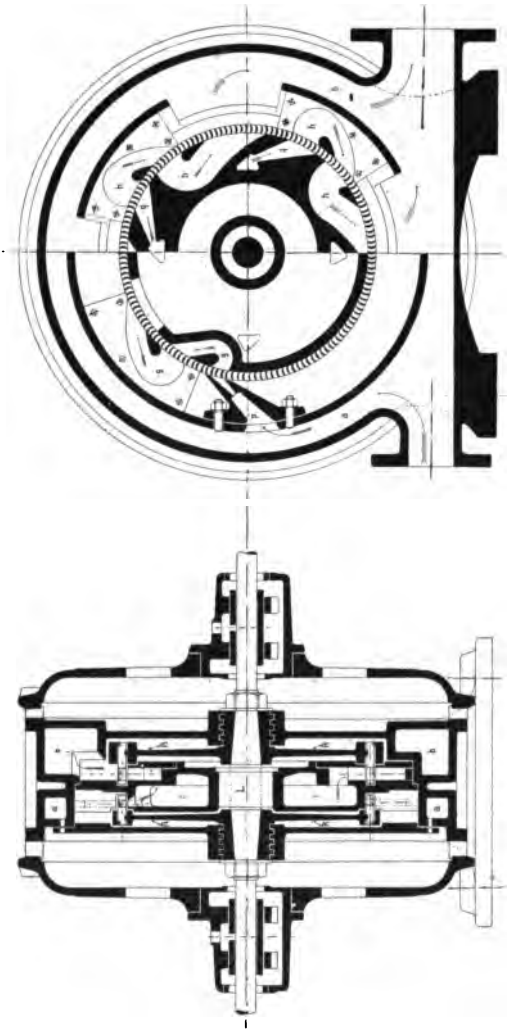


Fig. 19.

Digitized by Google

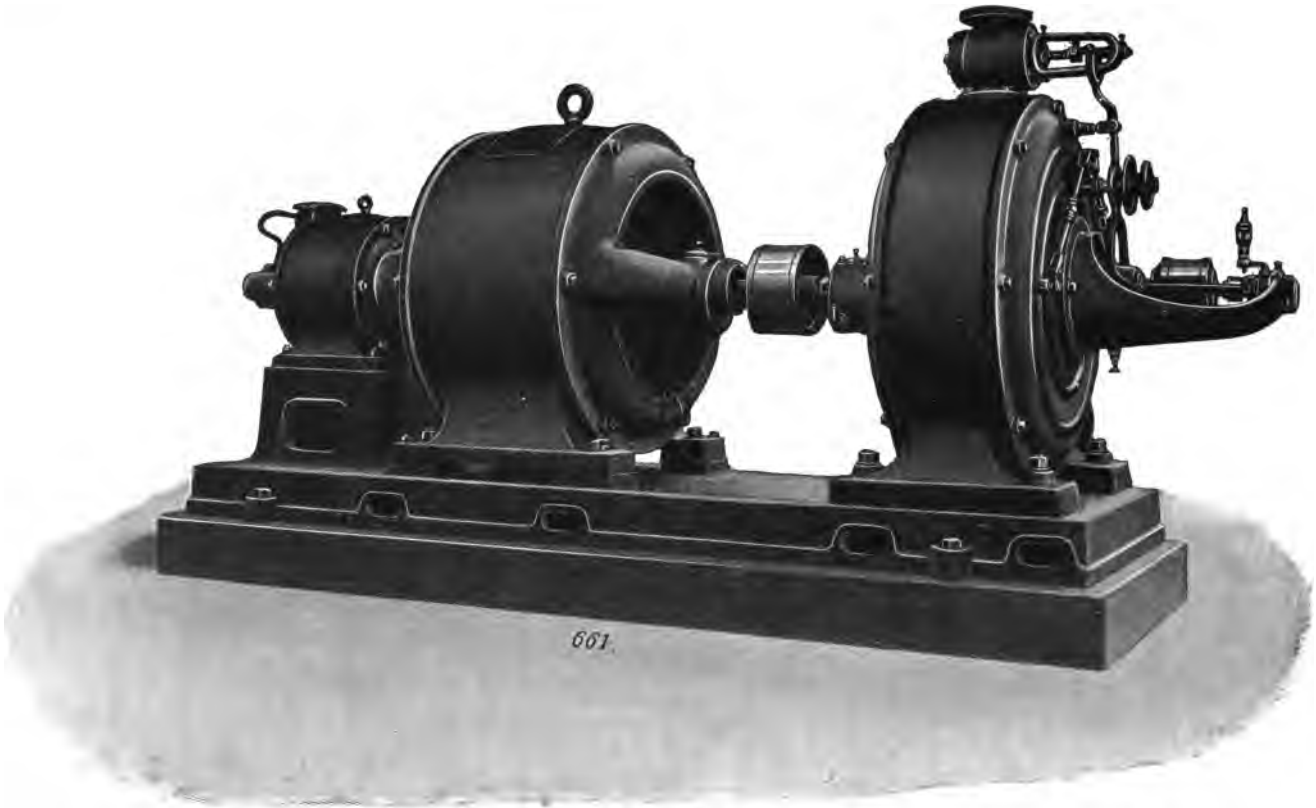


Fig. 20.

Digitized by Google

dampf geht vermittelst Einströmdüsen p zunächst in die Hochdruckturbine, läuft von den Leitdüsen g geführt 3 mal durch das Rad und von da aus in den Receiver hinein, tritt dann durch Düsen q von dem Receiver nach dem zweiten Schaufelrad heraus, durchfließt dasselbe den Dampfführungen h der Niederdruckturbine folgend 3 mal und tritt dann in den äußeren Abdampfkanal b. Die skizzierte Turbine hat 4 Einströmdüsen. Die Hoch- und Niederdruckturbine wird auf der Welle durch eine Labyrinth-Dichtung L abgedichtet. Gleichfalls wird die ganze Turbine durch 2 solche Dichtungen nach außen abgeschloßen. Im übrigen läuft die Turbine in 2 Ringschmierlagern. Eine fertige Turbine mit angebauter Drehstrommaschine und Erregermaschine zeigt Fig. 20.

Für ganz große Turbinen wird die Kolb-Turbine als Dreifach-Expansions-Turbine mit 2 bis 3 Geschwindigkeitsstufen gebaut.

Die Turbine von Kolb ist zweifellos eine sehr einfache und auch thoretisch recht sachgemäß aufgebaut. Sie hat den Vorzug, daß sie sich sowohl für ganz kleine Leistungen, wie auch für größte Leistungen eignet und daß sie leicht reversierbar gebaut werden kann.

D. GRÖSSEN EINIGER DER BETRACHTETEN DAMPFTURBINEN IM VERGLEICH MITEINANDER.

Von einer guten Dampfturbine wird im allgemeinen nicht nur verlangt, daß sie bezüglich Dampfverbrauch und Betriebssicherheit mit einer Dampfmaschine konkurrieren kann, sondern daß sie auch einen möglichst geringen Raumbedarf und geringes Gewicht besitzt. Nicht nur für

Digitized by Google

Schiffe, für welche jede Verringerung des maschinellen Raums und des Gewichts eine weittragende Rolle spielt — man denke an die Kriegsschiffe, welche mit jedem Kubikzentimeter und jedem Kilogramm rechnen müssen — sondern auch für stationäre Anlagen kann dieser Punkt von Wichtigkeit sein. Man stelle sich die Ersparnis vor, dadurch erzielt, daß man in einem bestehenden Maschinenhaus noch eine ziemlich große Dampfturbine unterbringen kann, während für eine neue Dampfmaschine ein Erweiterungsbau mit allen seinen Kosten und seinen Störungen für den regulären Betrieb nötig ist; oder man bringt pro Quadratmeter bebaute Maschinenhausfläche ein Vielfaches der Kraftmaschinen unter, im Vergleich zu Dampfmaschinen, oder das Terrain ist so teuer, daß nur die größten, den geringsten Platz einnehmenden Maschinen in Frage kommen können, und man wird zur Genüge erkennen, daß der Raumbedarf und das Gewicht häufig sogar eine größere Rolle spielen können, als selbst die Dampfökonomie allein.

Es ist daher immerhin interessant, einige bekannte Turbinen bezüglich ihres Raumbedarfs und ihrer äußeren Dimensionen zu vergleichen. Daß naturgemäß nur annähernd die Dimensionsverhältnisse angedeutet werden können, liegt bei dem bislang noch wenig an die Öffentlichkeit gelangten Material auf der Hand. In der Skizze Figur 21 ist versucht worden, die Größenverhältnisse für eine Leistung von etwa 300 HP. bei den Turbinen von Laval, Zölly, Rateau, Kolb und Parsons annähernd anzudeuten, und man darf wohl sagen, daß die Turbinen mit einer Kombination von Druck- und Geschwindigkeitsstufen in Bezug auf geringen Raumbedarf sehr zu beachten sind.

Digitized by Google

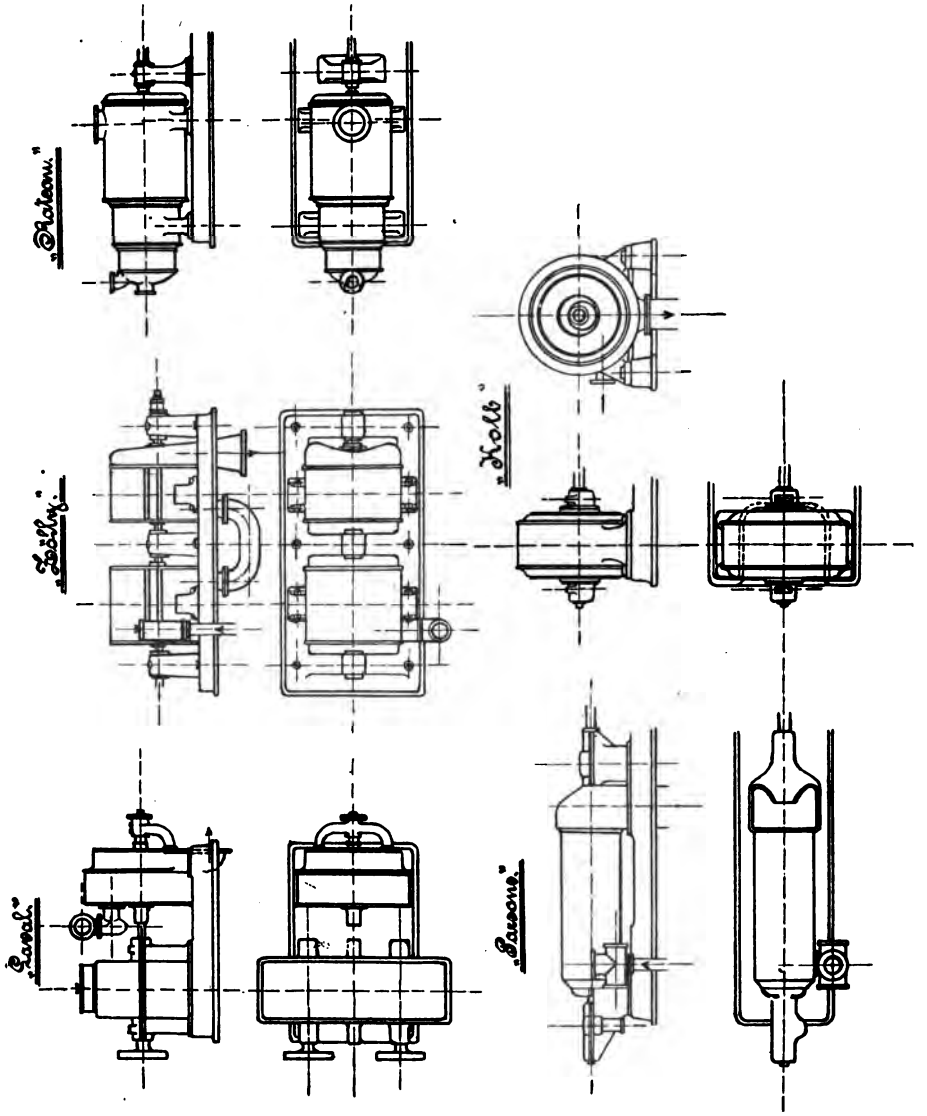


Fig. 21.

Digitized by Google

VII. BEACHTENSWERTE GESETZMÄSSIGKEITEN UND ERFAHRUNGEN FÜR DIE AUSFÜHRUNG VON DAMPFTURBINEN.

Bei der Ausführung von Dampfturbinen hat man vor allem die Verlustquellen zu berücksichtigen. Als wesentlicher Verlust-Faktor ist bereits die Dampfreibung angegeben. Sie wächst im quadratischen Verhältnis mit der Dampfgeschwindigkeit und im einfachen Verhältnis mit den Dampfwegen. Der Verlust in Düsen, die auf volle Geschwindigkeit expandieren, wie bei Dampfturbinen mit einer Druckstufe, kann 5 bis 15 % erreichen. Einen weiteren noch erheblicheren Verlust kann die Form der Schaufeln und die Form des Düsenquerschnitts bedingen; so sind bei elliptischem Düsen-Querschnitt diese Verluste bei Laval-Turbinen bis zu 20 %. Ferner bildet die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf die Turbine verläßt, einen weiteren Verlust, so bei Laval etwa 5 bis 8 %, sodaß in Summa bis zu 40 % Verluste auf die indizierte Leistung entfallen können.

Es ist jedoch praktisch keineswegs unmöglich, diese Verluste wesentlich zu verringern, so zum Beispiel durch Verringerung der Dampfgeschwindigkeit, also durch Verwendung von mehr als einer Druckstufe. Ganz abgesehen davon, weist aber der hohe Verlust bei Durchgang durch die Schaufeln, wie er bei der Laval-Turbine festgestellt ist, darauf hin, daß hier wesentlich günstiger konstruiert werden kann, wenn nicht andere hindernde Momente im Wege stehen.

Digitized by Google

Als mechanische Verluste treten bei Dampfturbinen außer der Lagerreibung die Reibung des Laufrads bezw. der Laufräder im umgebenden Mittel. Es ist von Stodola festgestellt, daß dieser Verlust annähernd mit der dritten Potenz der Umlaufszahl wächst. Sehr wesentlich hängt dieser Verlust noch davon ab, ob die Laufräder in gesättigtem Dampf oder in überhitztem Dampf laufen. Lewicki stellt fest, daß diese Reibung im betrachteten Fall im Verhältnis von 1,3 : 1 mit der Überhitzung abnimmt. Im Vergleich zu nassem Dampf stellen sich die Verhältnisse natürlich noch günstiger, und so weist der wirtschaftliche Betrieb mit Dampfturbinen in erster Linie auf die Verwendung überhitzten Dampfes.

Versuchsergebnisse an ausgeführten Turbinen lassen den Wert der Dampfüberhitzung deutlich erkennen. Man kann annehmen, daß bei gut gebauten Turbinen je 5° Überhitzung den Dampfverbrauch um 1 % verringern.

Diesen Vorteil wird man gerade bei Dampfturbinen am besten wahrnehmen können, da es nicht schwer ist, irgend welche gleitenden Dichtungen zu vermeiden, etwa durch Verwendung von Labyrinth- bezw. Kontraktionsdichtungen, die mit kondensierendem Dampf gespeist werden. Dann aber existiert in der ganzen Turbine kein Organ, welches durch Überhitzung leiden könnte.

Einen noch wesentlicheren Vorteil bezüglich des Dampfverbrauchs könnte die Überhitzung herbeiführen, sollte es gelingen, die ganze Überhitzung in der Turbine selbst in Arbeit umzusetzen. Leider ist dies nicht angängig, und so liegt das Problem so, den mit Überhitzung austretenden Dampf irgendwie nutzbringend zu verwerten. Die vollkommene Lösung läge allerdings darin, nicht nur

Digitized by Google

die Überhitzung, sondern auch noch die Temperatur des kondensierenden Dampfes bis auf diejenige der Außentemperatur nutzbar zu machen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß diese Ausnützung wenigstens bis ziemlich unter die Temperatur des kondensierenden Dampfes auf einfache Weise verwirklicht werden kann. Jedenfalls sind meines Wissens erfolgversprechende Vorversuche im Gange, welche das Gewünschte mit technisch einfachen Mitteln nicht unerreichbar scheinen lassen.

Weiter spielt bei Dampfturbinen die Kondensation eine wesentliche Rolle beim Dampfverbrauch. Es ist bereits erörtert worden, daß Auspuff-Dampfmaschinen theoretisch eine verhältnismäßig hohe Ausnützung der kinetischen Dampfenergie besitzen (s. Tabelle S. 6), sodaß die Dampfturbinen Mühe haben, dieses Güteverhältnis zu erreichen bezw. zu übertreffen.

Bei Verwendung von Kondensation liegen jedoch die Verhältnisse bedeutend günstiger, da hier die Dampfmaschinen durch die aus anderen Rücksichten begrenzten Zylindervolumen die Energie des expandierenden Dampfes nur sehr unvollständig ausnützen, während Dampfturbinen an diese Beschränkung nicht gebunden sind. Die Wirkung einer guten Kondensation bezw. eines guten Vakuums tritt daher bei Dampfturbinen weit wesentlicher in die Erscheinung.

Praktische Versuche haben ergeben, daß der Dampfverbrauch bei guten Turbinen und bei einem Vakuum zwischen 80 und 95% um etwa 1,8% pro 1% besseren Vakuums abnimmt. Daher bei Dampfturbinen die Forderung einer ausgezeichneten Kondensations-Anlage mit, wenn möglich, 90% und mehr Vakuum.

Digitized by Google

Ob sich für kleine Turbinen eine solche Kondensations-Anlage mit Rücksicht auf ihre hohen Beschaffungskosten immer rentiert, steht allerdings noch dahin, und es mehren sich die Stimmen, welche, entsprechend der rein drehenden Bewegung der Dampfturbinen, ausschließlich Rotationsorgane für Turbinen-Kondensations-Anlagen konstruiert wissen möchten. Das Ideal ist jedenfalls die Verbindung und der Antrieb der Kondensationspumpen direkt von der Turbine aus, und es steht dann zu erwarten, daß diese Hilfsorgane, für die hohen Tourenzahlen der Turbinen gebaut und als Rotationsmaschinen ausgebildet, billig und wenig raumsperrend werden.

Mit der Zeit werden wohl entsprechende praktische Lösungen gefunden werden, sodaß dann die Dampfturbinenfrage im ganzen recht wesentlich weiter gefördert wäre.

VIII. WIRTSCHAFTLICHE VORZÜGE VON DAMPFTURBINEN IM VERGLEICH ZU DAMPFMASCHINEN.

Die Dampfturbinen haben nicht nur die theoretische Möglichkeit, im Dampfverbrauch günstiger zu sein als die Dampfmaschinen, sondern sie haben in wirklichen Ausführungen auch bereits gezeigt, daß sie ihnen schon jetzt gleichkommen und sie übertreffen können. Dabei ist aber noch zu berücksichtigen, daß, wenn eine Dampfturbine einmal einen günstigen Dampfverbrauch gezeigt hat, die Annahme berechtigt ist, daß sie ihn dauernd beibehält, denn sie besitzt keinerlei gleitende Teile, wie etwa die Kolben und Schieber einer Dampfmaschine, die sich mit

Digitized by Google

der Zeit abnutzen und dadurch Dampfverluste bewirken, noch besitzt sie ein verwickeltes mechanisches Getriebe, dessen Mehr- oder Minderverbrauch an Kraft in hohem Maße von einer guten Konstruktion und Wartung abhängt. Daher bedeuten Dampfverbrauchsziffern bei Dampfmaschinen, die, wie bei den Garantie-Versuchen, unter den günstigsten, dauernd meist nicht haltbaren Verhältnissen gefunden werden, für die wirkliche Ökonomie wesentlich weniger als Dampfverbrauchsziffern bei Dampfturbinen.

Aber selbst unter Berücksichtigung dieses Moments wäre der ausschließliche Vergleich beider Kraftmaschinen an Hand des Dampfverbrauchs noch sehr einseitig.

In Berücksichtigung muß vor allem die geringe Rauminanspruchnahme der Dampfturbinen gezogen werden, wodurch wesentlich an Kosten für die Gebäulichkeiten gespart werden kann. Die Dampfturbinen sind ferner in ihren bewegten Massen gut ausgeglichen und benötigen daher fast keine nennenswerten Fundamente, was die baulichen Anlagen weiter verbilligt. Sie werden ferner fix und fertig zum Betrieb versandt und ersparen dadurch Montagekosten an Ort und Stelle. Ihre Regulierfähigkeit ist im Gegensatz zu der der Dampfmaschinen eine augenblickliche und nicht wie bei den letzteren eine zeitlich verschobene, sodaß schwere Schwungräder erforderlich sind, um die Gleichmäßigkeit der Bewegung während dieses Zeitmoments durch ihre Trägheit aufrecht zu erhalten. Daß die Dampfturbinen weniger Material und Lohn zu ihrer Herstellung benötigen, dürfte einzusehen sein. Wenn auch die Preise heute noch sehr hoch sind, so ändert dies nichts an der Tatsache, daß sie billiger hergestellt werden können als Dampfmaschinen.

Digitized by Google

Im Betriebe fällt außerdem die Wartung der vielen mechanischen Getriebe, wie sie die Dampfmaschine besitzt, fort. An einer Dampfturbine ist nur sehr wenig zu warten, denn die arbeitenden Teile sind unzugänglich und sie nutzen sich auch nicht ab, da mit Ausnahme der Lager keine Teile gegeneinander gleiten. Dies ist jedenfalls ein Punkt hoher wirtschaftlicher Bedeutung, welcher außer dem Dampfverbrauch entsprechend bewertet werden sollte.

Ähnlich günstig ist es mit dem Ölverbrauch bei Dampfturbinen. Da eigentlich nur 2 Lager zu bedienen sind, so ist der Aufwand an Schmier- und Putzmaterial etwa nur $^1/_6$ bis $^1/_{10}$ desjenigen einer Dampfmaschine, während Dichtungs- und Packungsmaterial ganz entfällt.

Da ferner im Innern der Turbine nichts zu schmieren ist, so bleibt der arbeitende Dampf und somit auch sein Kondensat ölfrei und kann also ohne weiteres für irgend welche Zwecke weiter benutzt werden. Bei den Dampfmaschinen, bei welchen auch die Zylinder geschmiert werden müssen, wird das Kondensat naturgemäß durch Öl verunreinigt.

Nach allem besitzen sonach die Dampfturbinen eine beachtenswerte Summe wirtschaftlicher Vorzüge, sodaß ihre Anwendung im großen Umfange für alle Zwecke, für welche sie sich mit Rücksicht auf ihre noch verhältnismäßig hohe Tourenzahl schon eignen, kaum ausbleiben kann.

Digitized by Google

IX. FERNERE PROBLEME UND ANWENDUNGEN.

Es liegt nahe, Turbinen-Konstruktionen auch für Betrieb mit Gas anzustreben. Grundsätzlich hätten sie jedenfalls vor den Gasmotoren den Vorteil, daß sie leichter die hohen Temperaturen der Verbrennungsgase vertragen könnten, da jene mit Dichtungen zu arbeiten gezwungen sind. Anderseits müsste für Turbinenbetrieb jedenfalls das Gas gut gereinigt sein, ehe es in die Turbine tritt, sonst würden sich zu leicht die Gaswege verschmieren, die Schaufeln abnützen und so die Leistung und die Wirtschaftlichkeit auf die Dauer leiden. Die Lösung des Problems dürfte wohl darin liegen, das Gas in einem besonderen Behälter zu explodieren, zu reinigen und dann unter gleichzeitiger Zuführung von Luft zu expandieren. Ein Teil der hohen Gastemperatur würde also zur Erhitzung und Beschleunigung der Luft verwendet und dieses Gemisch von Luft und Gas zum Betriebe der Turbine benutzt. Dadurch erhielte man den Vorteil, daß die Turbine nicht mit zu hohen Temperaturen zu arbeiten braucht und nicht künstlich gekühlt werden müßte.

Es bleibt abzuwarten, was die nächste Zeit darüber an praktischen Fortschritten bringt.

Mehr aktuelles Interesse hat dagegen der Betrieb von Turbinen mit Preßluft. Luft und Dampf, namentlich stark überhitzter, unterscheiden sich bezüglich der Konstruktionsverhältnisse von Turbinen nicht sehr, sodaß hier ein zweites Anwendungsgebiet sofort mitbearbeitet werden könnte. Die Frage ist außerdem eine recht

Digitized by Google

dringende, da z. B. in Bergwerken mit schlagenden Wettern schon jetzt Luftmotoren in großem Umfange verwendet werden müssen. Nun hat aber expandierende Luft den Nachteil, daß mit der Expansion die Temperatur schließlich unter den Gefrierpunkt sinkt, die Maschinenteile also leicht innen und außen vereisen und zwar teils infolge des Wassergehalts der Preßluft selbst, teils infolge des Wassergehalts der umgebenden Luft.

Diese Erscheinung macht den Betrieb mit Motoren mit Kolben und Schiebern außerordentlich schwierig und der vielen Reparaturen und Wartung wegen teuer. Bei Turbinenkonstruktionen, die mit hoher Geschwindigkeit und entsprechender Reibung arbeiten und keine gleitenden Teile besitzen, welche das gute Arbeiten beeinträchtigen können, ist die Vereisung weniger zu befürchten, besonders wenn mit der Expansion nicht allzuweit gegangen wird.

Jedenfalls werden in absehbarer Zeit Turbinenbetriebe mit Preßluft in Bergwerken ihre Vorteile vor Kolben-Maschinen praktisch beweisen können.

Digitized by Google

Verlag von **Georg Siemens** in **Berlin W. 10.**

Die Maschine in der Rohproduktion.

Eine volkswirtschaftliche Studie

von

Dipl.-Ing. Dr. Alexander Lang.

In 3 Teilen.

I. Teil: **Allgemeines.** 101 S. 8°. Preis 2 M.

Inhalt: Vorwort und Einleitung. — 1. Definition der Maschine. — 2. Entwicklungsprinzip der Maschine. — 3. Geschichte der Maschine. — 4. Die Entstehung des Maschinenzeitalters (England, Deutschland). — 5. Einteilung der Maschinen. — 6. Die Entwicklung des modernen Maschinenwesens. — 7. Die Maschinenwissenschaft.

II. Teil: **Die Maschine in der Landwirtschaft.** 120 S. 8°. Preis 2,40 M.

Inhalt: Vorwort. Einleitung: Die Struktur der deutschen Landwirtschaft im Hinblick auf Maschinenanwendung. 1. Veranlassung zur Einführung landwirtschaftlicher Maschinen. — 2. Die Arten der landwirtschaftlichen Maschinen und ihre Rentabilität. — 3. Einfluß der landwirtschaftlichen Maschinen auf den Unternehmer. — 4. Einfluß der landwirtschaftlichen Maschinen auf den Arbeiter. — 5. Einfluß der landwirtschaftlichen Maschinen auf die Volkswirtschaft.

Ein dritter Teil wird die Maschine im Bergbau behandeln und Anfang 1905 erscheinen.

In vorliegendem Werke, das drei in sich abgeschlossene Teile umfaßt, soll an Hand der Erkenntnisse der nationalökonomischen Wissenschaft einerseits und der Ingenieurwissenschaft anderseits eine wissenschaftliche Übersicht gegeben werden über den Einfluß der Maschine auf einen der wichtigsten Zweige der modernen Volkswirtschaft: die Rohproduktion.

Verf. will jener Richtung in der nationalökonomischen Wissenschaft, die sich das Studium der Technik nach sozialen und volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten zur Aufgabe macht, Material darbieten, welches bisher entweder garnicht oder nur mühsam und zeitraubend in technischen Lexika und Fachzeitschriften zugänglich war. Indessen nicht allein für die wissenschaftlichen Vertreter der Technik und Volkswirtschaft ist das Werk bestimmt; indem sich der Verfasser bemühte, stets populär zu bleiben, insbesondere mathematische Entwicklungen und Formulierungen zu vermeiden, werden auch die Vertreter der übrigen Wissenschaften wie überhaupt alle Gebildeten, die sich mit den technischen, wirtschaftlichen und sozialen Fragen unserer Zeit beschäftigen, in demselben manche Anregung finden.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Digitized by Google

Verlag von **Georg Siemens** in **Berlin W. 10.**

Der elektrische Kraftwagen.

Theoretisch-praktisches Handbuch für Konstruktion, Bau und Betrieb elektrisch bewegter Fahrzeuge. Von **H. W. Hellmann**, Ingenieur in Berlin. 328 S. 8°. Mit 225 in den Text gedruckten Abbildungen und einem Verzeichnis der Gleichstrom-Zentralstationen Deutschlands. Preis geb. 8 M.

Inhalt: Allgemeine Betrachtungen. — Berechnung des Kraftbedarfes und der Motorleistung von Motorwagen. — Über die Konstruktion elektrischer Kraftwagen. — Die Akkumulatoren. — Die Elektromotoren und die Transmission. — Die Hilfsapparate. — Die Lenkvorrichtungen. — Achsen. — Federn. — Räder und Bandagen. — Die Bremsen. — Das Untergestell. — Der Wagenkasten. — Darstellung und Beschreibung von ausgeführten neueren elektrischen Kraftwagen. — Über die Ladung, Behandlung und Instandhaltung des elektrischen Kraftwagens. — Sachregister.

In diesem aus der Praxis hervorgegangenen Werke wird sowohl dem Fabrikanten wie dem Besitzer elektrischer Kraftfahrzeuge ein wichtiges Handbuch geboten, das an der Hand zahlreicher Abbildungen in ausführlicher Weise Auskunft auf alle einschlägigen Fragen gibt.

Die Automobilen, ihr Wesen und ihre Behandlung.

Herausgegeben von Dr. **E. Müllendorff**, Ingenieur, und **F. Kübel**, Hauptmann a. D. Zweite Auflage. Mit 32 in den Text gedruckten Abbildungen. Preis 1,50 M.

„Bei der heutigen Bedeutung der Motorfahrzeuge für Jedermann ungewöhnlich interessant und wegen der vorzüglichen Behandlung des Stoffes von hervorragend praktischer Bedeutung. Sehr empfehlenswert."

Neueste Erfindungen u. Erf. (v. Dr. Koller) 26. J. No. 11.

Dampfschnellbahnzug

für 120 km mittlere stündliche Geschwindigkeit (150 Km.-St. max.) Von **Dr.-Ing. H. Mehlis**, Reg.-Baumeister a. D. 2. Auflage. Lex. 8° mit 10 Tafeln in Photolithographie. Preis geb. 5 M.

Transport- und Lagerungs-Einrichtungen für Getreide und Kohle.

Von **M. Buhle**, Prof. an der Techn. Hochschule zu Dresden. Mit 71 Textabbildungen und 11 lithograph. Tafeln. Kl. Fol. Preis geb. 10 M.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Digitized by Google

Verlag von **Georg Siemens** in **Berlin W. 10.**

Elementare Vorlesungen über die Telegraphie und Telephonie.

Von Dr. **Richard Heilbrun.** Mit zahlreichen Abbildungen im Text. Vollständig in 7—8 Lieferungen zu je 1 M. 60 Pf. Vollständig bis Ostern 1905.

Inhalt: Der elektrische Strom. — Die elektrischen Maßeinheiten. Das Joulesche Gesetz. — Magnetismus. — Elektromagnetismus. Induktion. — Elektrostatik. — Chemische Stromwirkung. — Chemische Stromerzeugung. — Chemische Stromspeicherung. — Wellen und Schall. — Morseapparatsystem. — Bedeutung und Bau der Relais. — Die telegraphischen Hilfsapparate. — Die Batterie. — Hauptsächlichste Morseschaltungen. — Der Hughes-Apparat. — Der Einfluß der Leitungen und Kabeltelegraphie. — Der Vielfachbetrieb. — Elektrische Wellen und die Funkentelegraphie. — Physik des Fernsprechens. — Telephonische Hilfsapparate. — Die Fernsprechgehäuse (einschl. Automat). — Klappenschränke. — Vielfachumschalter. — Automatisches Amt.

Das Wassergas und seine Verwendung in der Technik.

Von **M. Geitel,** Regierungsrat, Mitglied des Kaiserl. Patentamts. Dritte umgearbeitete und vermehrte Auflage der vom Verein Deutscher Maschinen-Ingenieure preisgekrönten Schrift. Gr. 8°. Mit 74 Abbildungen im Text. Preis 7 M., geb. 8 M.

Inhalt: Allgemeines. — Die Apparate zur Darstellung des Wassergases. — Die Verwendung des Wassergases für Beleuchtungszwecke — für Heizungszwecke — für Krafterzeugung — für industrielle Zwecke.

Aufgaben aus der Elektrotechnik

nebst deren Lösungen. Ein Übungs- und Hilfsbuch für Studierende und Ingenieure. Von Dr. phil. **E. Müllendorff.** 113 S. 8° mit 14 Textfiguren. Preis geb. 2 M. 50 Pf.

Inhalt: 1. Aufgaben über Maßsysteme; 2. aus der Potentialtheorie; 3. über das Ohmsche Gesetz; 4. über Stromverzweigungen; 5. über die Stromverteilung. — 6. Vermischte Aufgaben. — 7. Aufgaben aus der Wechselstromtechnik. — 8. Aufgaben über das Rechnen mit Vektoren. — 9. Aufgaben über die Methoden der kleinsten Quadrate. — 10. Aufgaben, deren Lösungen auf transzendente Gleichungen führen.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Digitized by Google

Verlag von **Georg Siemens** in **Berlin W. 10.**

Populäre Vorlesungen

über

chemische Technologie

von

Dr. H. Wichelhaus,

Geh. Regierungs-Rat,
Professor und Direktor des technologischen Instituts der Universität Berlin.

2 Bände. Gr. 8°.

Mit 130 in den Text gedruckten Abbildungen.

I. Teil. **Preis 10 M., in Leinenbd. 11 M.**

II. Teil. **Preis 5 M., in Leinenbd. 6 M.**

Die **„Köln. Volksztg."** schreibt in ihrer litt. Beil. No. 11 v. 13. III. 02.

„Das Buch gibt in leicht verständlicher Darstellung eine Übersicht über die wichtigsten Rohstoffe der chemischen Technik, über ihr Vorkommen und ihre Eigenschaften, über die Apparate und Verfahren zu ihrer Verarbeitung und über die dabei gewonnenen Produkte und deren praktische Verwendung. Neben der bei aller Kürze stets umfassenden Schilderung verleihen zahlreiche eingestreute historische und statistische Notizen und viele gute, offenbar nach großen Lehrzeichnungen angefertigte Abbildungen dem Buche einen hervorragenden Wert für jeden, der sich über die Grundlagen, Arbeiten und Erfolge der modernen chemischen Industrie unterrichten will oder muß, also namentlich für Juristen, Verwaltungsbeamte, Kaufleute, Lehrer, Volkswirte. Wo und wie Salz gewonnen wird, wie man Schwefelsäure herstellt, wie eine Ammoniak-Eismaschine arbeitet, wozu Salpeter anwendbar ist, wie Zündhölzer gemacht werden, auf welche Art aus Roheisen Schmiedeeisen und Stahl wird, wie man Glas und Porzellan verarbeitet und gewinnt, was Cellulose ist und was daraus werden kann, wie buntes Papier entsteht, was beim Vergasen von Steinkohle herauskommt, warum die Elektrizität das Kohlengas nicht verdrängt hat, woraus und wie Glühkörper hergestellt werden, wievielerlei Farbstoffe aus Teer gewonnen werden können — auf diese und zahlreiche andere oft auftauchende Fragen gibt das Buch klare, erschöpfende und zutreffende Auskunft. Überall sind die neuesten Fortschritte berücksichtigt; die Darstellung des neuen Kontaktverfahrens zur Gewinnung von Schwefelsäure beispielsweise ist wohl in solcher Anschaulichkeit noch in keinem Konversationslexikon zu finden."

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Digitized by Google

Digitized by Google

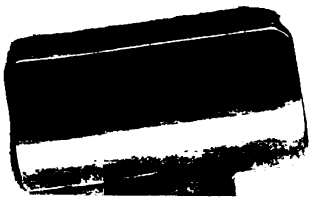
8908967310 7

B89089673107A

Digitized by Google

THK
.K87

ENGINEERING LIBRARY
UNIVERSITY OF WISCONSIN
MADISON 6, WISCONSIN



Digitized by Google

8908967310 7
b89089673107a